



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASIONAL
DAN PENGGUNAAN *STABILIZER* TERHADAP
PERILAKU ARAH BELOK MOBIL TOYOTA FORTUNER
4.0 V6 SR (AT 4X4)**

DEVA ANDRIANSYAH

NRP 2112100037

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TM 141585

**ANALYSIS THE EFFECT OF OPERATIONAL
PARAMETER AND THE USE OF STABILIZER
TOWARDS THE TURNING DIRECTION BEHAVIOR OF
TOYOTA FORTUNER 4.0 V6 SR (AT 4X4)**

DEVA ANDRIANSYAH

NRP 2112100037

Adviser

Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D

Mechanical Engineering Departement
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASIONAL DAN PENGGUNAAN *STABILIZER* TERHADAP PERILAKU ARAH BELOK MOBIL TOYOTA FORTUNER 4.0 V6 SR (AT 4X4)

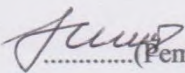



TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DEVA ANDRIANSYAH
NRP. 2112 100 037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc. Ph.D
(NIP. 195106051978031002) (Pembimbing)
2. Alief Wikarta, ST,MSc.Eng, PhD.
(NIP. 198202102006041002) (Penguji I)
3. Dr.Eng Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng.Sc.
(NIP. 197805102001121001) (Penguji II)
4. latifah Nurahmi, ST, MSc, Ph.D
(NIP. 210000011) (Penguji III)

SURABAYA
Juli, 2016

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER OPERASIONAL
DAN PENGGUNAAN *STABILIZER* TERHADAP
PERILAKU ARAH BELOK MOBIL TOYOTA FORTUNER
4.0 V6 SR (AT 4X4)**

Nama : Deva Andriansyah
NRP : 2112100037
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Pada era globalisasi seperti saat ini penggunaan mobil penumpang di Indonesia menjadi semakin meningkat. Hal itulah yang menyebabkan semakin bertambahnya jumlah permintaan pasar akan mobil penumpang di Indonesia. Salah satu tipe mobil yang digemari oleh masyarakat Indonesia yaitu Toyota Fortuner. Toyota Fortuner merupakan model mobil SUV (*sport utility vehicle*) dengan harga jual yang relatif tinggi. Dalam pengoperasiannya, mobil SUV ini harus mampu memberikan keamanan dan kenyamanan yang tinggi agar tidak membahayakan pengendara. Salah satu faktor penunjang dari segi keamanannya ialah perilaku arah belok kendaraan. Oleh sebab itu, dengan harga jual yang tinggi tersebut diharapkan mobil ini dapat memberikan perilaku arah belok yang baik dalam penggunaannya.

Terdapat dua tahapan dalam tugas akhir ini yaitu tahap analisis dan uji jalan. Pada tahap analisis dilakukan beberapa perhitungan berdasarkan analisa *slip*, *skid*, dan guling untuk mengetahui perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner dengan beberapa variasi terhadap parameter operasionalnya antara lain: jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok, kondisi permukaan jalan, dan tekanan ban. Selain itu, analisis pengaruh penggunaan *stabilizer* terhadap perilaku arah belok mobil juga dilakukan. Pada tahap uji jalan dilakukan dengan metode radius belok tetap

sebesar 10 m untuk mendapatkan nilai koefisien *understeer* (K_{US}) dari mobil tersebut. Uji jalan akan dilakukan pada jalan aspal dan tanah masing-masing sebanyak dua kali dengan kondisi mobil tanpa menggunakan *stabilizer* dan menggunakan *stabilizer* pada bagian depan. Dimana hasil yang didapatkan dari uji jalan akan dibandingkan dengan hasil dari analisis perhitungan.

Hasil penelitian pada tugas akhir ini adalah mobil Toyota Fortuner mengalami kondisi belok yang paling baik ketika dinaiki oleh 2 orang penumpang dengan tekanan udara ban sebesar 35 Psi dan melintas pada jalan aspal karena kendaraan lebih sedikit mengalami kondisi *oversteer* dan memiliki nilai koefisien *understeer* yang bernilai positif paling kecil serta tidak mudah mengalami *skid*. Pada kondisi demikian, kendaraan akan mulai mengalami *skid* dengan sudut belok $7,81^\circ$ pada kecepatan 47,6155 km/jam, dengan sudut belok sebesar $15,62^\circ$ pada kecepatan 33,4229 km/jam, dengan sudut belok $23,44^\circ$ pada kecepatan 27,1701 km/jam, dan dengan sudut belok $31,25^\circ$ pada kecepatan 23,5037 km/jam. Penggunaan *stabilizer* pada mobil Toyota Fortuner tidak memunyai pengaruh yang signifikan terhadap perilaku arah beloknya karena nilai K_{US} yang dihasilkan tidak jauh berbeda pada hasil uji jalan yakni sebesar 1,8045 dan 1,8115 pada jalan aspal serta 2,151 dan 2,1641 pada jalan tanah. Pada mobil Toyota Fortuner ini penggunaan *stabilizer* sangat bermanfaat untuk memperkecil sudut guling ketika berbelok.

Kata kunci : *stabilizer, slip, skid, understeer, oversteer, K_{US} .*

**ANALYSIS THE EFFECT OF OPERATIONAL
PARAMETER AND THE USE OF STABILIZER
TOWARDS THE TURNING DIRECTIONS BEHAVIOR OF
TOYOTA FORTUNER 4.0 V6 SR (AT 4X4)**

Student Name : Deva Andriansyah
NRP : 2112100037
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor Lecturer : Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

In this globalization era the use of public transportation in Indonesia has been increased. Thus, the public's demand of car is also increased. One of Indonesian's favorite car is Toyota Fortuner. Toyota Fortuner is a kind of SUV (*sport utility vehicle*) with a high selling price. In its operational time, this SUV car must give high protection in order to guarantee the safety of the passenger. One of the factor that influence the safety of the car is the turning direction of the car. In that case, with an expensive price, it is expected that this car will give a good protection to the passenger.

There were two steps in this research; analysis and the test drive. For the analyze phase, researcher did several counting based on the *slip*, *skid*, and rolling analysis to determine the behavior of the car's turning direction with several variation of operational parameters; the number of passenger, speed, turning angle, road condition and also air pressure of tire. Moreover, the analysis of the use of stabilizer to the car's turning direction is also needed to be done. For the driving test phase, the constant turning radius method used at the number of radius 10m in order to gain coeficient *understeer* (K_{US}) of that car. The driving test was done twice in the asphalt road and in the soil road. The first test without using stabilizer and the second time using stabilizer

in front part of the car. Furthermore, the result of the test drive will be compared with the counting analysis.

The result of this research is that Toyota Fortuner experienced the best turning condition when there were two passengers inside the car, with pressure number of tire 35 Psi and passed by the asphalt road because the vehicle was less experiencing oversteer condition and has small value of understeer index and also did not easily experiencing *skid*. In that condition, the car will be experiencing *skid* on $7,81^\circ$ turning angle in the speed of 47,6155 km/hours, $15,62^\circ$ turning at 33,4229 km/hours, turning angle $3,44^\circ$ at 27,1701 km/hours, and the turning angle $31,25^\circ$ at 23,5037 km/hours. Moreover, the use of stabilizer in Toyota Fortuner did not have any significant roles to the turning direction of the car because of the value of the K_{US} is not different from the result of driving test which is 1,8045 and 1,8115 in the asphalt road and also 2,151 and 2,1641 in the soil road. In conclusion, the use of stabilizer in this car is really usefull for decreasing the rolling angle when the car is turning.

Keywords: *stabilizer, slip, skid, understeer, oversteer, K_{US} .*

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kajian Pustaka	5
2.1.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Titik Berat Kendaraan	7
2.2.2. Posisi Tinggi Titik Berat Kendaraan	8
2.2.3. Sumbu Guling Kendaraan	10
2.2.4. Perilaku Arah dan Dinamika Kendaraan Berbelok ...	11
2.2.5. Pengaruh Penambahan <i>Stabilizer</i> Terhadap Perilaku Arah Kendaran	16
2.2.6. Pengaruh Kekakuan Ban pada Perilaku Arah Kendaraan.....	18

2.2.7. Pengaruh Kondisi Permukaan Jalan Terhadap Perilaku Arah Kendaraan.....	18
2.2.8. Mengukur Perilaku Arah Kendaraan.....	20
BAB 3 METODOLOGI	38
3.1. Prosedur Penelitian	39
3.2. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	39
3.3. Prosedur Perhitungan dan Analisis	40
3.4. <i>Flowchart</i> Perhitungan dan Analisis.....	44
3.5. Prosedur Pengujian untuk Mencari Nilai Kekakuan <i>Stabilizer Bar</i>	47
3.6. <i>Flowchart</i> Pengujian untuk Mencari Kekakuan <i>Stabilizer Bar</i>	47
3.7. Prosedur Uji Jalan Kendaraan dengan Metode Radius Belok Tetap	48
3.8. <i>Flowchart</i> Uji Jalan Kendaraan dengan Metode Radius Belok Tetap.....	50
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Data dan Spesifikasi Kendaraan	53
4.2. Contoh Perhitungan	57
4.2.1. Perhitungan Letak Titik Berat Kendaraan	57
4.2.2. Perhitungan Radius Belok Ideal (<i>Ackerman</i>) dan Sudut <i>Side Slip</i> Kendaraan.....	59
4.2.3. Perhitungan Gaya Sentrifugal yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok	59
4.2.4. Perhitungan Gaya Dorong, Gaya Hambat Aerodinamika, dan Gaya Hambat <i>Rolling</i>	60
4.2.5. Perhitungan Kekakuan <i>Stabilizer Bar</i> Kendaraan	61
4.2.6. Perhitungan Kekakuan Ban Kendaraan	62

4.2.7.	Perhitungan Kekakuan Pegas dan Ban Ekvivalen.....	63
4.2.8.	Perhitungan Sudut dan Momen Guling yang Terjadi pada Kendaraan	64
4.2.9.	Perhitungan Sudut dan Momen Angguk (<i>Pitching</i>) yang Terjadi pada Kendaraan	65
4.2.10.	Perhitungan Gaya Reaksi yang Terjadi pada Ban Kendaraan.....	66
4.2.11.	Perhitungan Berdasarkan Analisa <i>Skid</i>	69
4.2.12.	Perhitungan Berdasarkan Analisa Guling	71
4.2.13.	Perhitungan Sudut <i>Slip</i>	73
4.2.14.	Perhitungan Radius Belok Nyata dan Koefisien <i>Understeer</i> (K_{US}) Kendaraan	76
4.3.	Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan	77
4.3.1.	Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Aspal.....	77
4.3.2.	Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Tanah.....	80
4.4.	Analisa <i>Slip</i> Perilaku Arah Belok Kendaraan.....	83
4.4.1.	Analisa Besarnya Sudut <i>Slip</i> yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Aspal	83
4.4.2.	Analisa Besarnya Sudut <i>Slip</i> yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Permukaan Jalan	85
4.4.3.	Analisa Besarnya Sudut <i>Slip</i> yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Tekanan Ban	86

4.4.4. Analisa Besarnya Sudut <i>Slip</i> yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Kecepatan dan Sudut Belok pada Permukaan Jalan Aspal	88
4.5. Analisa <i>Skid</i> Perilaku Arah Belok Kendaraan	90
4.6. Analisa Guling Perilaku Arah Belok Kendaraan	91
4.6.1. Analisa Batas Kecepatan Guling Kendaraan	91
4.6.2. Analisa Besarnya Sudut Guling yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok	93
4.7. Analisa Perilaku Arah Kendaraan Berdasarkan Nilai Koefisien <i>Understeer</i> (K_{US})	94
4.8. Analisa Pengaruh Penggunaan <i>Stabilizer</i>	98
4.8.1. Analisa Pengaruh Penggunaan <i>Stabilizer</i> Terhadap Sudut Guling yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok	98
4.8.2. Analisa Pengaruh Penggunaan <i>Stabilizer</i> Terhadap Batas Kecepatan Maksimum Guling Kendaraan	100
4.9. Analisa Hasil Uji Jalan dengan Metode Radius Belok Tetap pada Jalan Aspal dan Tanah	101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	108
5.1. Kesimpulan	109
5.2. Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN	115
BIODATA PENULIS	139

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Koefisien adhesi ban pada bermacam-macam jenis permukaan jalan [5].	19
Tabel 2. 2. Nilai rata-rata koefisien hambatan <i>rolling</i> untuk berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi permukaan jalan [5].	19
Tabel 3. 1. Contoh data hasil uji jalan kendaraan dengan metode radius belok tetap.	49
Tabel 4. 1. Spesifikasi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT/4X4).	53
Tabel 4. 2. Letak posisi titik berat mobil setelah diberikan penambahan massa penumpang.	56
Tabel 4. 3. Sudut <i>slip</i> rata-rata ban depan (α_f) dan ban belakang (α_r) kendaraan dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal dan tekanan ban sebesar 35 Psi.	84
Tabel 4. 4. Sudut <i>slip</i> rata-rata ban depan (α_f°) serta ban belakang (α_r°) kendaraan dengan 2 penumpang, pada kecepatan 35 km/jam, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.	85
Tabel 4. 5. Sudut <i>slip</i> rata-rata ban depan (α_f°) serta ban belakang (α_r°) kendaraan dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.	89
Tabel 4. 6. Kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.	100
Tabel 4. 7. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal dengan <i>stabilizer</i> .	101
Tabel 4. 8. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal tanpa <i>stabilizer</i> .	102
Tabel 4. 9. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah dengan <i>stabilizer</i> .	102

Tabel 4. 10. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah tanpa <i>stabilizer</i>	102
Tabel 4. 11. Hasil perhitungan nilai kus kendaraan.....	105
Tabel 4. 12. Perbandingan kecepatan <i>skid</i> kendaraan hasil perhitungan dengan hasil uji jalan.	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Average roll angle vs time</i> hasil DLC test, a) dengan <i>soft suspension</i> , b) dengan <i>stiff suspension</i> [4].....	6
Gambar 2. 2. <i>Free body diagram</i> mobil Toyota Fortuner dengan penambahan penumpang.	7
Gambar 2. 3. <i>Free body diagram</i> mobil Toyota Fortuner dengan posisi membentuk sudut θ setelah penambahan penumpang.	9
Gambar 2. 4. Penentuan sumbu guling <i>sprung mass</i> pada kendaraan [5].....	10
Gambar 2. 5. Posisi pusat guling untuk “ <i>positive swing arm independent suspension</i> ” [5].	11
Gambar 2. 6. Kinematika kendaraan belok dengan kondisi <i>ackerman</i>	12
Gambar 2. 7. Kinematika kendaraan belok dengan kondisi netral.	13
Gambar 2. 8. Perilaku arah kendaraan <i>understeer</i> [6].....	15
Gambar 2. 9. Perilaku arah kendaraan <i>oversteer</i> [6].	16
Gambar 2. 10. Sistem suspensi dengan penambahan <i>anti roll bar</i> [7].	16
Gambar 2. 11. <i>Anti roll bar</i> yang terbebani gaya vertikal [7].	17
Gambar 2. 12. Sistem suspensi kendaraan yang dilengkapi dengan <i>Anti Roll Bar</i> [8].	18
Gambar 2. 13. Mekanisme terjadinya sudut <i>slip</i> pada ban [5]. ...	20
Gambar 2. 14. <i>SAE vehicle axis system</i> [9].....	21
Gambar 2. 15. <i>Free body diagram</i> kendaraan saat berbelok dengan <i>bicycle model</i>	22
Gambar 2. 16. Gaya-gaya yang terjadi pada roda depan kendaraan.	24
Gambar 2. 17. Gaya-gaya yang terjadi pada roda belakang kendaraan.	24
Gambar 2. 18. Analisa gaya-gaya yang terjadi pada model sistem suspensi kendaraan.	25

Gambar 2. 19. <i>Lateral transfer load</i> yang dilakukan pada kendaraan.....	27
Gambar 2. 20. <i>Longitudinal transfer load</i> yang dilakukan pada kendaraan.....	27
Gambar 2. 21. Ilustrasi ban kendaraan ketika mengalami <i>skid</i> saat berbelok.....	30
Gambar 2. 22. Ilustrasi kendaraan ketika mengalami <i>rolling</i> saat berbelok.....	32
Gambar 2. 23. Kecepatan karakteristik dan kritis kendaraan [5].	34
Gambar 2. 24. Kurva hasil pengujian dengan metode radius belok tetap [5].....	37
 Gambar 3. 1. Kurva hasil pengujian dengan radius belok tetap [5].	 49
 Gambar 4. 1a) Menimbang massa mobil pada posisi datar. b) Menimbang massa mobil pada posisi miring.	 54
Gambar 4. 2. Letak posisi duduk penumpang sesuai dengan variasi jumlah penumpang.....	56
Gambar 4. 3. <i>Seat layout</i> dengan dua orang penumpang.	57
Gambar 4. 4. <i>Frontal area</i> mobil Toyota Fortuner.	60
Gambar 4. 5. Mekanisme pembebanan yang dilakukan untuk mengukur <i>spring rate stabilizer bar</i> kendaraan.	61
Gambar 4. 6. Analisa pembebanan yang diberikan pada ujung <i>stabilizer bar</i>	62
Gambar 4. 7. Model suspensi yang terpasang pada kendaraan.	63
Gambar 4. 8. Penyederhanaan pada model sistem suspensi kendaraan.....	63
Gambar 4. 9. Penomoran roda/ban kendaraan.....	66
Gambar 4. 10. Grafik nilai K_{US} Vs δf° mobil Toyota Fortuner dengan 1 orang penumpang pada jalan aspal.	77
Gambar 4. 11. Grafik nilai K_{US} Vs δf° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.	78
Gambar 4. 12. Grafik nilai K_{US} Vs δf° mobil Toyota Fortuner dengan 4 orang penumpang pada jalan aspal.	78

Gambar 4. 13. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 7 orang penumpang pada jalan aspal.	79
Gambar 4. 14. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 1 orang penumpang pada jalan tanah.	81
Gambar 4. 15. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan tanah.	82
Gambar 4. 16. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 4 orang penumpang pada jalan tanah.	82
Gambar 4. 17. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 7 orang penumpang pada jalan tanah.	83
Gambar 4. 18. Grafik nilai α_f° Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal.	87
Gambar 4. 19. Grafik nilai α_r° Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal.	88
Gambar 4. 20. Grafik batas kecepatan <i>skid</i> Vs (δ_f°) mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada berbagai variasi permukaan jalan.	90
Gambar 4. 21. Grafik batas kecepatan guling dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi jumlah penumpang.	92
Gambar 4. 22. Grafik besarnya sudut guling depan (Y_f°) dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi kecepatan belok dan dinaiki oleh 2 orang penumpang.	93
Gambar 4. 23. Grafik besarnya sudut guling belakang (Y_r°) dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi kecepatan belok dan dinaiki oleh 2 orang penumpang.	94
Gambar 4. 24. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.	95
Gambar 4. 25. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan tanah.	97
Gambar 4. 26. Grafik besarnya sudut guling depan (Y_f°) dan belakang kendaraan (Y_r°) pada kecepatan 35 Km/jam dengan sudut belok (δ_f°) dengan dan tanpa menggunakan <i>stabilizer</i>	99

Gambar 4. 27. Grafik δ_f° Vs $V2g$. R hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, menggunakan <i>stabilizer</i>	103
Gambar 4. 28. Grafik δ_f° Vs $V2g$. R hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, tanpa <i>stabilizer</i>	103
Gambar 4. 29. Grafik δ_f° Vs $V2g$. R hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, menggunakan <i>stabilizer</i>	104
Gambar 4. 30. Grafik δ_f° Vs $V2g$. R hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, tanpa <i>stabilizer</i>	104

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner menggunakan analisa *slip*, *skid*, dan guling dengan beberapa parameter operasional yang divariasikan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Kondisi belok paling baik dapat dijumpai ketika kendaraan dinaiki oleh dua orang penumpang pada jalan aspal. Karena kendaraan mengalami kondisi *overseteeer* yang paling sedikit dan koefisien *understeer* yang bernilai positif terkecil yaitu 1,775. Selain itu, kendaraan juga tidak mudah mengalami *skid* ketika melintasi jalan aspal.
2. a). Seiring bertambahnya penumpang, sudut *slip* pada ban depan dan belakang semakin besar. Pada kecepatan 35 Km/jam dan sudut belok $15,62^\circ$, sudut *slip* pada ban depan dan belakang yaitu dengan 1, 2, 4, dan 7 penumpang berturut-turut yaitu: $15,1630^\circ$ dan $14,4019^\circ$, $15,5051^\circ$ dan $14,8192^\circ$, $15,7764^\circ$ dan $16,0474^\circ$, $15,4782^\circ$ dan $18,4858^\circ$.
b). Sudut *slip* yang terjadi pada ban kendaraan menjadi lebih besar ketika kendaraan melintas pada jalan tanah dibandingkan pada jalan aspal. Dengan 2 orang penumpang pada kecepatan 35 Km/jam dan sudut belok $15,62^\circ$, sudut *slip* pada ban depan dan belakang yang terjadi saat kendaraan melintasi jalan aspal yaitu sebesar $15,051^\circ$ dan $14,819^\circ$ sedangkan saat melintasi jalan tanah yaitu $16,033^\circ$ dan $15,284^\circ$.
c). Tekanan ban yang dapat memberikan perilaku arah belok yang baik terhadap mobil Toyota Fortuner ialah 35 Psi karena sudut *slip* pada ban depan dan belakang yang terjadi cenderung lebih kecil namun kecepatan *skid* kendaraan masih tinggi.
3. a). Semakin besar sudut belok yang diberikan maka kecepatan *skid* dan guling kendaraan akan semakin menurun.

Dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal, batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami *skid* roda depan dan belakang yaitu, dengan sudut belok $7,81^\circ$ sebesar 48,5304 km/jam dan 47,6155 km/jam, dengan sudut belok $15,62^\circ$ sebesar 34,8132 km/jam dan 33,4229 km/jam, dengan sudut belok $23,44^\circ$ sebesar 28,9268 km/jam dan 27,1701 km/jam, dengan sudut belok $31,25^\circ$ sebesar 25,6026 km/jam dan 23,5037 km/jam. Sedangkan batas kecepatan agar kendaraan tidak terguling total yaitu, dengan sudut belok $7,81^\circ$ sebesar 70,1759 km/jam, dengan sudut belok $15,62^\circ$ sebesar 50,9113 km/jam, dengan sudut belok $23,44^\circ$ sebesar 42,8202 km/jam, dengan sudut belok $31,25^\circ$ sebesar 38,4196 km/jam

- b). Mobil Toyota Fortuner akan lebih sulit untuk mengalami *skid* ketika melintasi permukaan jalan aspal kering. Batas kecepatan maksimum agar mobil Toyota Fortuner tidak mengalami *skid* pada roda depan dan belakang dengan 2 orang penumpang serta sudut belok sebesar $15,62^\circ$ pada jalan aspal kering, aspal basah, tanah kering, dan tanah basah berturut-turut yaitu: 34,8132 km/jam dan 33,4229 km/jam, 30,5726 km/jam dan 29,6181 km/jam, 30,1199 km/jam dan 29,2059 km/jam, 27,0143 km/jam dan 26,3491 km/jam.
 - c). Hasil dari analisa *skid* menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner cenderung mengalami kondisi *oversteer* karena kecepatan *skid* depan yang lebih tinggi daripada kecepatan *skid* belakang. Dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal, kecepatan *skid* depan dan belakang kendaraan pada sudut belok $7,81^\circ$ 48,5305 km/jam dan 47,6156 km/jam, pada sudut belok $15,62^\circ$ sebesar 34,8132 m/jam dan 33,8132 km/jam, pada sudut belok $23,44^\circ$ sebesar 28,9268 km/jam dan 27,1701 km/jam, pada sudut belok $31,25^\circ$ sebesar 25,6026 km/jam dan 23,5037 km/jam.
4. a). Semakin banyak jumlah penumpang yang berada di dalam kendaraan maka batas kecepatan maksimum agar

kendaraan tidak terguling akan menurun karena letak titik berat kendaraan yang semakin begeser ke atas. Batas kecepatan maksimum agar mobil Toyota Fortuner tidak terguling total pada sudut belok $15,62^\circ$ dengan 1, 2, 4, dan 7 orang penumpang berturut-turut yaitu: 51,7175 Km/jam, 50,9113 Km/jam, 49,5498 Km/jam, dan 47,9773 Km/jam.

- b). Hasil dari analisa guling menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner cenderung mengalami kondisi *oversteer* karena batas kecepatan guling roda depan yang nilainya lebih besar daripada roda belakang. Dengan 2 orang penumpang, batas kecepatan guling roda depan dan belakang pada sudut belok $7,81^\circ$, $15,62^\circ$, $23,44^\circ$, dan $31,25^\circ$ berturut-turut yaitu: 70,176 km/jam dan 67,4848 km/jam, 50,9113 km/jam dan 46,8311 km/jam, 42,8202 km/jam dan 37,661 km/jam, 38,4196 km/jam dan 32,2367 km/jam.
5. Semakin besar sudut belok dan kecepatan yang diberikan maka besarnya sudut guling yang terjadi akan semakin meningkat. Dengan 2 orang penumpang pada kecepatan 35 Km/jam, sudut guling depan yang terjadi pada sudut belok $7,81^\circ$, $15,62^\circ$, $23,44^\circ$, dan $31,25^\circ$ berturut-turut adalah $0,141^\circ$, $0,2796^\circ$, $0,4136^\circ$, dan $0,5399^\circ$. Kemudian dengan sudut belok $15,62^\circ$ besarnya sudut guling depan yang terjadi pada kecepatan 10 km/jam sampai 50 Km/jam adalah $0,0228^\circ$, $0,0514^\circ$, $0,0913^\circ$, $0,1427^\circ$, $0,2055^\circ$, $0,2796^\circ$, $0,3653^\circ$, $0,4623^\circ$, $0,5707^\circ$.
6. Penambahan *stabilizer* menyebabkan sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok menjadi semakin kecil, sehingga batas kecepatan maksimum agar kendaraan tidak terguling semakin meningkat. Dengan 2 orang penumpang pada kecepatan 35 Km/jam dan sudut belok $15,62^\circ$, sudut guling depan yang terjadi ialah $0,4196^\circ$ dengan kondisi kendaraan tanpa *stabilizer* depan dan $0,2796^\circ$ dengan kondisi menggunakan *stabilizer* depan. Sudut guling belakang yang terjadi ialah $0,4586^\circ$ dengan kondisi kendaraan tanpa *stabilizer* belakang dan $0,2676^\circ$ dengan

kondisi menggunakan *stabilizer* belakang. Sedangkan batas kecepatan kendaran pada sudut belok $15,62^\circ$ agar tidak terguling total yaitu 50,9068 km/jam dengan kondisi kendaraan tanpa menggunakan *stabilizer* dan 50,9113 km/jam dengan menggunakan *stabilizer*.

7. Hasil dari uji jalan dengan metode radius belok tetap 10 meter menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner cenderung mengalami kondisi *understeer* karena nilai K_{US} yang didapatkan bernilai positif yaitu sebesar 1,8045 dan 1,8115 pada jalan aspal serta 2,1511 dan 2,1641 pada jalan tanah.

5.2. Saran

Dari hasil analisa yang telah dilakukan terdapat beberapa saran dan rekomendasi sebagai bahan rujukan untuk penelitian selanjutnya. Adapun beberapa saran tersebut antara lain,

1. Sebaiknya dilakukan penelitian yang serupa terhadap mobil Toyota Fortuner dengan memperhitungkan pengaruh dari kemiringan melintang penampang jalan dan penyebaran posisi duduk penumpang berdasarkan jumlah yang ditentukan.
2. Sebaiknya perlu dilakukan simulasi tentang besarnya sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok sehingga hasilnya bisa dibandingkan dengan hasil perhitungan sebagai bahan untuk validasi.
3. Untuk mengurangi besarnya sudut guling belakang yang terjadi ketika kendaraan berbelok maka perlu dipasang *stabilizer bar* pada suspensi bagian belakang mobil Toyota Fortuner.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kantor Kepolisian Republik Indonesia, 2013. **Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987-2013**, <URL:<http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>>; [Accessed 20.11.15].
- [2] Dukkipati, R.V., et. all., 2008. “Road Vehicle Dynamic”. **Warrendale (PA): Society of Automotive Engineers**.
- [3] Uys, P.E., Els, P.S., Thoresson, M.J., 2006. “Criteria for Handling Measurement”. **Journal of Terramechanics**; 43:43-67.
- [4] Cronje, P.H., and Els P.S., 2009. “Improving Off-Road Vehicle Handling Using An Active Anti-Roll Bar”. **Journal of Terramechanics: Elsevier**.
- [5] Sutantra, I Nyoman, dan Bambang Sampurno. 2010. **Teknologi Otomotif, Edisi Kedua**. Surabaya: Guna Widya.
- [6] Wahyuningrum, Diani. 2015. **Analisa Perilaku Arah Mobil Multiguna Pedesaan Dengan Variasi Kecepatan, Sudut Belok, Koefisien Gesek Dan Sudut Kemiringan Melintang Jalan**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [7] G. Rill, George., 2006. “Vehicle Dynamics”. **University of Applied Sciences**.
- [8] Bhanage, Amol and Padmanabhan, K., 2015. ”Static and Fatigue Simulation of Automotive Anti Roll Bar before DBTT”. **International Journal of Applied Engineering Research**.

- [9] Ledesma, Ragnar, 2006. **Technical Seminar Series-Vehicle Dynamic.**<URL:<http://image.slidesharecdn.com/3dbbc3de-eba2-4e37-a30a-39e95be32a05-150310120250-conversion-gate01/95/vehicle-dynamics-18-638.jpg?cb=1426007129>>: [Accessed 29.11.15].

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari bapak Gatot Santoso dan ibu Jemini yang dilahirkan di kota Sidoarjo pada tanggal 13 Desember 1993. Jenjang pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis yaitu dimulai dari TK RA Muslimat Faqih Hasyim Sidoarjo pada tahun 1998, kemudian dilanjutkan di SDN KEMIRI Sidoarjo pada tahun 2000, SMP Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2006, dan SMA Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2009. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, kemudian penulis dinyatakan diterima sebagai mahasiswa di jurusan S-1 Teknik Mesin FTI-ITS melalui jalur SNMPTN Undangan pada tahun 2012. Selama menjalani kehidupan kampus, penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan kemahasiswaan seperti Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) FTI-ITS yang berkesempatan untuk menjadi staf Departemen Umum pada periode 2013-2014 dan Kepala Departemen Umum pada periode 2014-2015. Selain aktif dalam kegiatan kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan juara 1 pada kompetisi ITS *Futsal Championship* pada tahun 2013 dan 2014 serta juara 1 Futsal Putra pada kompetisi FTI *Olympic Games* 2015. Di jurusan Teknik Mesin ini Penulis mengambil bidang studi Desain-otomotif. Penulis sempat aktif sebagai asisten praktikum *Balancing* pada mata kuliah Dinamika Teknik. Penulis memiliki hobi bermain futsal. Motto hidup yang dijunjung tinggi oleh penulis yaitu, “Proses dari suatu pencapaian adalah kunci utama sebelum mendapatkan suatu penghargaan”. Apabila ada hal yang ingin ditanyakan seputar tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui alamat email dan nomor telepon di bawah.

email : devaandriansyah18@gmail.com
No. Telp : 082245056575

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era globalisasi seperti saat ini penggunaan alat transportasi di Indonesia menjadi semakin meningkat, salah satunya yaitu mobil penumpang. Tercatat pada situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2013 silam, terdapat kurang lebih sebelas ribu unit mobil di Indonesia [1]. Hal itu lah yang menjadi salah satu faktor jumlah permintaan pasar akan produksi mobil semakin bertambah. Untuk menjawab kebutuhan pasar yang tinggi akan dunia transportasi, salah satu *brand* mobil di Indonesia yaitu Toyota telah menyediakan berbagai model mobil penumpang untuk kebutuhan masyarakat Indonesia. Salah satu model mobil yang diminati oleh masyarakat Indonesia ialah Toyota Fortuner yang termasuk jenis mobil SUV (*Sport Utility Vehicle*).

Mobil SUV merupakan jenis mobil penumpang yang menggabungkan konsep mobil *Off-Road* dan *On-Road*. Selain mengutamakan kenyamanan dalam berkendara, mobil SUV juga harus mampu memberikan tingkat keamanan yang tinggi. Apabila tingkat kenyamanan dan kemanannya tidak seimbang maka mobil tersebut dapat memberikan resiko yang besar bagi pengendaranya. Penelitian dari Dukupati *et. al.*, menyebutkan bahwa pada periode 1985-1990 mobil SUV menyumbang sebesar 10,75% dari total kecelakaan mobil yang terjadi di Amerika Serikat dan jumlah itu meningkat pada tahun 2002 yakni sebesar 25,6% [2]. Untuk menanggulangi hal itu telah banyak dikembangkan berbagai macam teknologi dalam dunia otomotif yang bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan kendaraan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kenyamanan dan keamanan kendaraan yaitu perilaku arah kendaraan saat berbelok. Perilaku arah belok kendaraan itu sendiri dipengaruhi oleh *handling performance* kendaraan dan kondisi operasionalnya

seperti kecepatan, sudut belok, tekanan udara ban, dan sebagainya. Penelitian dari Uys *et. al.*, menyebutkan bahwa salah satu parameter yang harus diperhatikan untuk meningkatkan *handling performance* kendaraan yaitu sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Dengan memperkecil sudut guling tersebut, maka *handling performance* kendaraan akan meningkat [3]. Berbagai cara telah dilakukan untuk memperkecil sudut guling yang terjadi saat kendaraan berbelok yaitu dengan penambahan *stabilizer* seperti yang ada pada mobil Toyota Fortuner dan mobil SUV lainnya.

Mengingat bahwa mobil Toyota Fortuner merupakan jenis mobil SUV dengan harga jual yang relatif tinggi di Indonesia, maka diharapkan mobil ini telah memiliki perilaku arah yang baik. Untuk itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan sebuah analisis perilaku arah pada mobil Toyota Fortuner sebagai bahan pertimbangan dalam pengoperasian serta dalam pengembangan mobil ini kedepannya.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun beberapa permasalahan yang ada pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimanakah perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok kendaraan, dan kondisi permukaan jalan?
2. Berapakah sudut *slip* yang terjadi pada roda depan dan belakang kendaraan dengan variasi jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok kendaraan, kondisi permukaan jalan, serta tekanan udara ban?
3. Berapakah batas kecepatan maksimum *skid* mobil Toyota Fortuner dengan variasi sudut belok kendaraan dan kondisi permukaan jalan?
4. Berapakah batas kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner dengan variasi jumlah penumpang dan sudut belok kendaraan?

5. Bagaimanakah pengaruh kecepatan dan sudut belok terhadap besarnya sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok?
6. Bagaimanakah pengaruh penggunaan *stabilizer* terhadap sudut guling yang terjadi serta batas kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner ketika berbelok?

1.3. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini antara lain:

1. Kendaraan yang digunakan ialah mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4) dengan nomer seri GGN50L-EKASKG.
2. Parameter operasional yang akan divariasikan dalam penelitian ini antara lain:
 - Jumlah penumpang yang divariasikan yaitu 1, 2, 4, dan 7 orang dengan masing-masing penumpang seberat 70 Kg. Diasumsikan bahwa penumpang mengisi kursi mobil pada bagian depan terlebih dahulu sesuai dengan *seat layout* yang telah ditentukan.
 - Kecepatan kendaraan saat belok dianggap konstan, sesuai dengan variasi sebesar 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 km/jam.
 - Sudut belok kendaraan divariasikan sebesar 7,81°; 15,62°; 23,44°; 31,25°.
 - Jalan yang dilalui oleh kendaraan yaitu jalan aspal dan anah dalam kondisi kering maupun basah.
 - Tekanan ban divariasikan sebesar 25, 30, 35, dan 40 Psi.
3. Kendaraan dianalisis dalam kondisi tanpa *stabilizer*, dengan *stabilizer* depan, serta dengan *stabilizer* depan maupun belakang. *Stabilizer* yang digunakan ialah *passive stabilizer*.
4. Setiap ban kendaraan dalam kondisi baru.
5. Titik kerja gaya hambat aerodinamika berhimpit dengan posisi titik berat kendaraan.

6. Efek gaya ke samping dan gaya angkat akibat angin diabaikan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner dengan variasi jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok kendaraan, dan kondisi permukaan jalan.
2. Mengetahui besarnya sudut *slip* yang terjadi pada roda depan dan belakang kendaraan dengan variasi jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok kendaraan, kondisi permukaan jalan, serta tekanan udara ban.
3. Mengetahui besarnya batas kecepatan maksimum *skid* mobil Toyota Fortuner dengan variasi sudut belok kendaraan dan kondisi permukaan jalan.
4. Mengetahui besarnya batas kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner dengan variasi jumlah penumpang dan sudut belok kendaraan.
5. Mengetahui pengaruh kecepatan dan sudut belok terhadap besarnya sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok.
6. Mengetahui pengaruh penggunaan *stabilizer* terhadap sudut guling yang terjadi serta batas kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner ketika berbelok.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Sebagai media untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang otomotif.
2. Sebagai bahan rujukan dalam penelitian tentang perilaku arah belok kendaraan selanjutnya.
3. Sebagai bahan informasi bagi masyarakat luas dalam hal pengoperasian mobil Toyota Fortuner.
4. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan mobil Toyota Fortuner terutama dari segi perilaku arah beloknya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

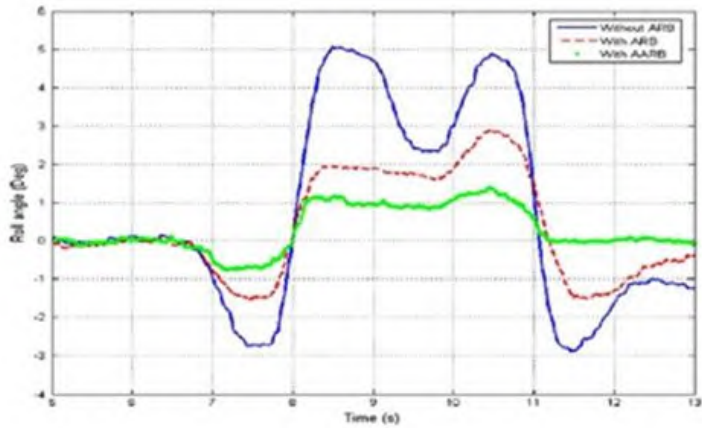
2.1. Kajian Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu

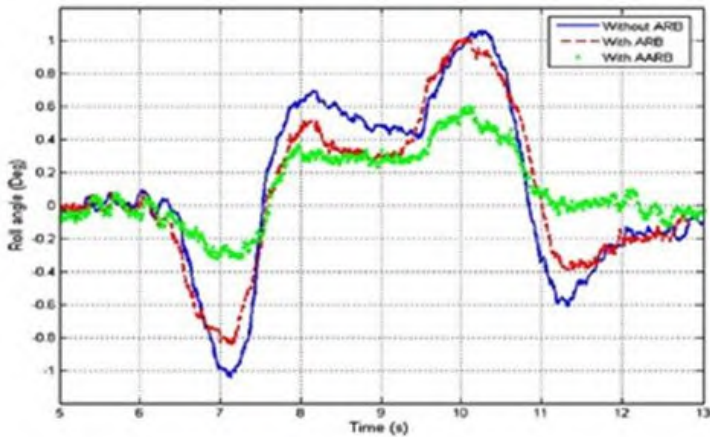
A. P. H. Cronje dan P. S. Els (2009)

Analisis pengaruh penggunaan *Anti Roll Bar* (ARB) sebelumnya pernah dilakukan oleh P. H. Cronje dan P. S. Els pada tahun 2009 dalam penelitiannya yang berjudul ***“Improving Off-Road Vehicle Handling Using An Active Anti roll bar”***. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan sudut guling yang terjadi pada mobil tersebut dengan kondisi tanpa ARB, dengan ARB pasif, serta dengan AARB (*Active Anti Roll Bar*) pada sistem suspensi bagian belakang sebuah mobil *off-road*. Mobil yang dianalisis dalam penelitian ini adalah Land Rover Defender 110 yang juga dimodelkan ke dalam software ADAMS car dengan sistem suspensi 4S₄ (*Four State Semi-active Suspension System*). Untuk mendapatkan perbandingan sudut guling yang terjadi pada ketiga kondisi tersebut maka dilakukan pengujian pada mobil dengan metode radius belok tetap, *Double Lane Changes test* (DLC), serta *belgian paving test*. Parameter yang divariasikan dalam analisis ini yaitu pengaturan dari sistem suspensi 4S₄ dengan mode *soft* dan *stiff*. Hal yang didapatkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

Berdasarkan hasil pengujian *DLC test* yang ditunjukkan oleh gambar 2.1a dan 2.1b dapat diketahui bahwa pada pengaturan *soft suspension* penggunaan AARB dapat mengurangi sudut guling maksimum sebesar 74% daripada tanpa menggunakan ARB dan sebesar 45% pada pengaturan *stiff suspension*. Sedangkan apabila dibandingkan dengan menggunakan ARB pasif, AARB dapat mengurangi sudut guling maksimum sebesar 55% pada pengaturan *soft suspension* dan 40% pada pengaturan *stiff suspension* [4].



a)



b)

Gambar 2. 1. Average roll angle vs time hasil DLC test, a) dengan *soft suspension*, b) dengan *stiff suspension* [4].

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Titik Berat Kendaraan

Posisi titik berat sebuah kendaraan dapat diketahui dengan cara melakukan penimbangan terhadap roda depan dan roda belakang sehingga dapat diketahui berat kendaraan pada bagian depan (W_f) dan bagian belakang (W_r). Sebelum terisi penumpang, dan dengan menggunakan sumbu roda bagian depan sebagai pusat momen serta dengan asumsi bahwa semua momen yang arahnya CCW bernilai (+), maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\sum M_B = 0 \quad (2.1)$$

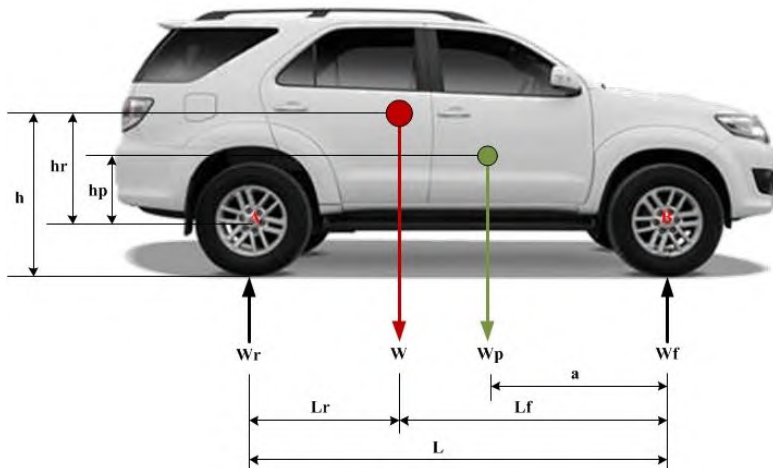
$$W \cdot L_f = W_r \cdot L \quad (2.2)$$

$$L_f = \frac{W_r \cdot L}{W} \quad (2.3)$$

dimana :

W : berat kendaraan = $W_f + W_r$ [N]

L : panjang total kendaraan = $L_f + L_r$ [m]



Gambar 2. 2. *Free body diagram* mobil Toyota Fortuner dengan penambahan penumpang.

Berdasarkan gambar 2.2 di atas, maka persamaan 2.3 akan menjadi seperti berikut:

$$L_f' = \frac{\sum W_i \cdot L_i}{\sum W_i} \quad (2.4)$$

$$L_f' = \frac{W_p \cdot a + W \cdot L_f}{W_t} \quad (2.5)$$

dimana,

W_r = Berat kendaraan bagian belakang [N]

W_f = Berat kendaraan bagian depan [N]

W_p = Berat penumpang [N]

W_k = Berat kendaraan [N]

W_t = Berat total ($W_k + W_p$) [N]

L = Panjang total kendaraan [m]

L_f = Jarak *center of gravity* ke sumbu roda depan [m]

L_r = Jarak *center of gravity* ke sumbu roda belakang [m]

L_f' = Jarak *center of gravity* ke sumbu roda depan setelah penambahan penumpang [m]

a = Jarak titik berat penumpang ke sumbu roda depan [m]

2.2.2. Posisi Tinggi Titik Berat Kendaraan

Posisi tinggi titik berat kendaraan dapat diketahui dengan cara menopang roda depan atau roda belakang dengan timbangan dan mendongkrak roda lainnya hingga membentuk sudut (θ). Sudut (θ) tersebut dibuat tidak begitu besar agar bodi tidak menukik. Berdasarkan gambar 2.3, dengan meninjau jumlah momen yang terjadi titik A didapatkan persamaan:

$$h_r = \frac{W_{f\theta} \cdot L - W \cdot L_r}{W \tan \theta} \quad (2.6)$$

$$h = h_r + r \quad (2.7)$$

Nilai h_r juga akan berubah akibat adanya penambahan penumpang, sehingga persamaannya akan menjadi sebagai berikut:

$$h_r' = \frac{\sum W_i \cdot h_i}{\sum W_i} \quad (2.8)$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p} \quad (2.9)$$

dimana,

W_{f0} = Berat kendaraan bagian depan saat ditimbang [N]

W = Berat total kendaraan [N]

W_p = Berat penumpang [N]

h = Tinggi titik berat kendaraan tanpa penumpang terhadap tanah[N]

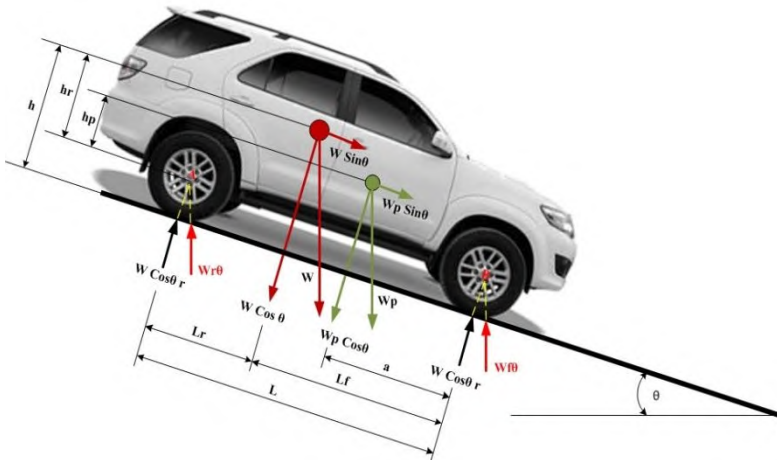
h_r = Tinggi titik berat kendaraan tanpa penumpang terhadap sumbu roda [N]

h_p = Jarak titik berat penumpang dengan sumbu roda [m]

h_r' = Tinggi titik berat setelah penambahan berat penumpang terhadap sumbu roda [m]

θ = Sudut kemiringan yang diberikan pada kendaraan [°]

r = Jari-jari roda [m]



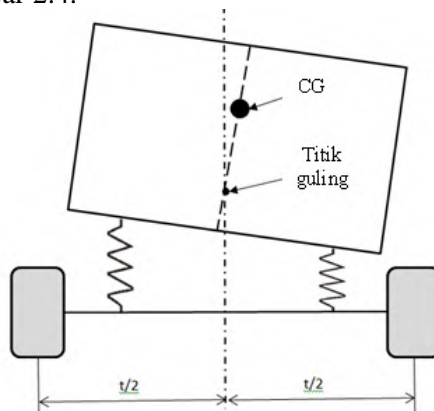
Gambar 2. 3. *Free body diagram* mobil Toyota Fortuner dengan posisi membentuk sudut θ setelah penambahan penumpang.

2.2.3. Sumbu Guling Kendaraan

Tinggi rendahnya letak sumbu guling terhadap permukaan jalan bergantung pada sistem suspensi dan kekakuan suspensi yang digunakan.

Letak sumbu guling kendaraan tersebut dapat ditentukan dengan cara seperti berikut:

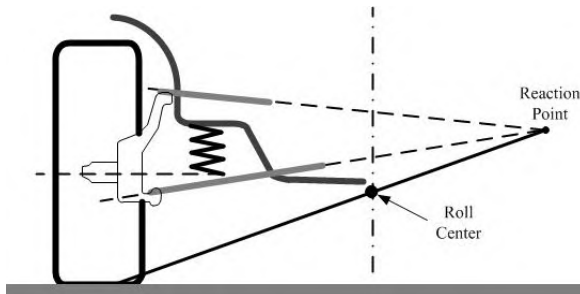
1. Kendaraan diposisikan pada landasan horisontal agar semua roda berada pada level yang sama.
2. Diberikan garis vertikal dibagian depan dan atau belakang kendaraan yang membagi sisi kanan dan kiri secara simetris. Garis tersebut harus menempel pada bagian bodi kendaraan sehingga ia selalu mengikuti pergerakan kendaraan.
3. Dipasang sebuah kaca atau benda transparan yang lain di depan dan atau di belakang kendaraan yang juga diletakkan pada landasan horisontal.
4. Dibuat garis vertikal pada kaca tersebut yang paralel dengan garis yang telah dibuat pada bodi kendaraan sehingga apabila dilihat pada bagian depan atau belakang maka kedua garis tersebut akan terlihat berhimpit seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Penentuan sumbu guling *sprung mass* pada kendaraan [5].

5. Bagian atas bodi kendaraan didorong dari samping hingga sedikit terguling namun tidak sampai ada roda yang terangkat. Pada saat ini garis yang terdapat pada kaca dan bodi kendaraan tidak lagi berhimpit tetapi saling berpotongan pada suatu titik. Titik itulah yang menjadi pusat guling kendaraan pada bagian depan dan atau belakang. Apabila titik pusat guling di bagian depan dan belakang dihubungkan dengan suatu garis maka akan didapatkan sumbu guling kendaraan.

Berdasarkan data spesifikasi kendaraan dapat diketahui bahwa sistem suspensi yang digunakan pada mobil Toyota Fortuner ini adalah jenis *independent suspension* dengan *positive swing arm*, maka letak titik pusat gulingnya dapat diketahui dengan pendekatan seperti pada gambar 2.5. Biasanya titik guling kendaraan pada bagian depan maupun belakang sejajar dengan titik pusat roda.



Gambar 2. 5. Posisi pusat guling untuk “*positive swing arm independent suspension*” [5].

2.2.4. Perilaku Arah dan Dinamika Kendaraan Berbelok

2.2.4.1. Perilaku Arah *Ackerman* dan Netral

Perilaku *ackerman* merupakan perilaku kendaraan saat berbelok yang ideal dengan tanpa memperhitungkan sudut *slip* yang terjadi pada ban. Kondisi *ackerman* hanya bisa dijumpai pada saat kendaraan berbelok dengan kecepatan rendah pada

$$R_{ack} = \frac{L_f + L_r}{\delta_{f^\circ}} 57,29 \quad (2.10)$$

$$R_n = \text{radius belok nyata [m]}$$

α_f° = sudut *slip* rata-rata ban roda depan $\left(\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}\right) [^\circ]$

α_r° = sudut *slip* rata-rata roda belakang $\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}\right) [^\circ]$

O = pusat belok nyata

Berdasarkan gambar 2.7 didapatkan beberapa persamaan seperti berikut:

$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\theta_n} 57,29 \quad (2.13)$$

$$\theta_n^\circ = \delta_f^\circ + \alpha_r^\circ - \alpha_f^\circ \quad (2.14)$$

Dengan memasukkan kondisi netral dimana $\alpha_r = \alpha_f$, maka didapatkan $\theta_n = \delta_f$. Dari persamaan 2.14 dapat diketahui besarnya radius belok nyata kendaraan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ + \alpha_r^\circ - \alpha_f^\circ} 57,29 \quad (2.15)$$

Pada kondisi netral, persamaan (2.15) tersebut menjadi:

$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ} 57,29 \quad (2.16)$$

2.2.4.2. Perilaku Arah *Understeer*

Perilaku *understeer* merupakan kondisi kendaraan yang sulit untuk dibelokkan sehingga membutuhkan sudut belok (δ_f°) yang lebih besar untuk radius belok tertentu. Perilaku *understeer* dapat terjadi pada kendaraan apabila kondisi sudut *slip* rata-rata roda depan (α_f°) lebih besar dari pada sudut *slip* rata-rata roda belakang (α_r°).

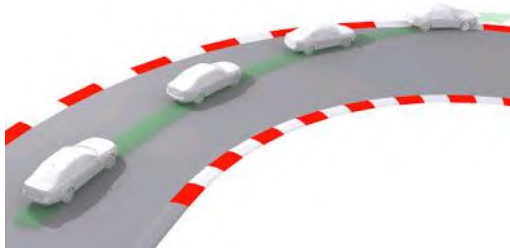
Untuk mengendalikan kendaraan dengan perilaku *undertsteer* tidak begitu sulit yaitu dengan cara memberikan sudut *steer* yang besar untuk berbelok lebih besar. Mengacu pada gambar 2.8 dan analisa seperti pada kondisi kendaraan belok

netral, maka didapatkan persamaan untuk kondisi *understeer* adalah sebagai berikut:

$$R_u = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ + \alpha_r^\circ - \alpha_f^\circ} \quad 57,29 \quad (2.17)$$

$$R_u > R_n$$

$$\alpha_r < \alpha_f$$



Gambar 2. 8. Perilaku arah kendaraan *understeer* [6].

2.2.4.3. Perilaku Arah *Oversteer*

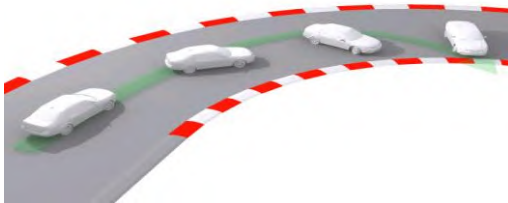
Perilaku *oversteer* merupakan kondisi kendaraan berbelok yang melampaui sudut *steer* yang diberikan oleh pengemudi. Pada kondisi ini kendaraan menjadi sangat sulit untuk dikendalikan dan sering mengakibatkan *lost of control* dimana pengemudi tidak lagi mampu mengendalikan kendaraan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan. Kondisi ini pada umumnya terjadi pada saat sudut *slip* pada roda belakang kendaraan (α_r°) jauh lebih besar daripada sudut *slip* pada roda depan (α_f°).

Untuk mengendalikan kendaraan yang mengalami *oversteer* dapat dilakukan dengan cara mengurangi kecepatan kendaraan saat mulai memasuki tikungan. Mengacu pada gambar 2.9 dan analisa seperti pada kondisi kendaraan belok netral, maka didapatkan persamaan untuk kondisi *understeer* adalah sebagai berikut:

$$R_o = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ + \alpha_r^\circ - \alpha_f^\circ} \quad 57,29 \quad (2.18)$$

$$R_o < R_u < R_n$$

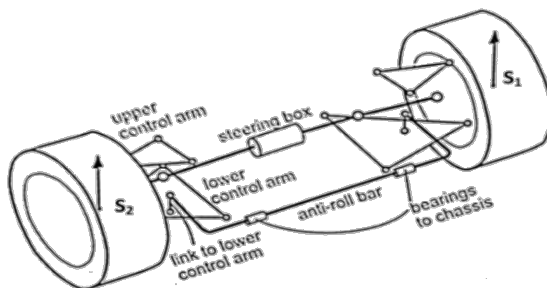
$$\alpha_r^\circ > \alpha_f^\circ$$



Gambar 2. 9. Perilaku arah kendaraan *oversteer* [6].

2.2.5. Pengaruh Penambahan *Stabilizer* Terhadap Perilaku Arah Kendaran

Stabilizer atau yang sering disebut sebagai *anti roll bar* merupakan bagian dari suspensi mobil yang membantu untuk mengurangi *body roll* kendaraan saat menikung dengan cepat dan meningkatkan kestabilan kendaraan. Bar ini menghubungkan roda kanan dan kiri melalui sebuah lengan tuas pendek yang dihubungkan oleh sebuah *torsion bar spring*.



Gambar 2. 10. Sistem suspensi dengan penambahan *anti roll bar* [7].

Ketika salah satu roda terangkat saat kendaraan sedang bermanuver dan roda satunya semakin tertekan ke bawah, maka

akan timbul gaya reaksi yang diberikan oleh *anti roll bar* tersebut pada setiap rodanya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. Gaya reaksi tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$F_{arb} = \pm R_s(S_1 - S_2) \quad (2.19)$$

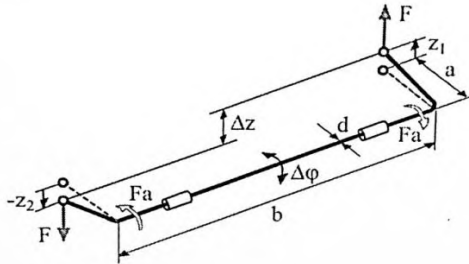
dimana,

F_{arb} : Gaya reaksi yang ditimbulkan oleh *anti roll bar* [N]

R_s : Kekakuan *anti roll bar* [N/m]

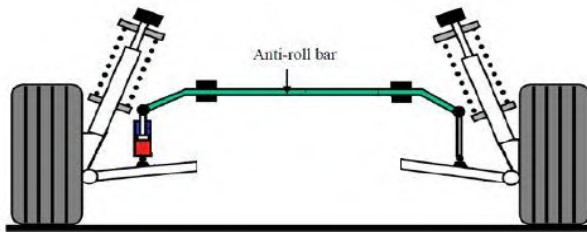
S_1, S_2 : Arah gerak vertikal pada roda suspensi di sebelah kanan dan kiri [m]

kekakuan *anti roll bar* bergantung pada geometri dan karakteristik materialnya. *Free body diagram* akan gaya reaksi yang terjadi pada *anti roll bar* yang terpasang pada suspensi mobil dapat dilihat seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11. *Anti roll bar* yang terbebani gaya vertikal [7].

Anti roll bar dipasangkan ujung-ujungnya pada *drop link* suspensi yang ada di sebelah kanan dan kiri seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Pengaruh penggunaan *anti roll bar* secara signifikan ialah untuk mengurangi sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Dengan sudut guling yang semakin kecil maka momen guling yang terjadi pada kendaraan juga akan semakin kecil. Hal itu dapat dilihat pada persamaan 2.48 dan 2.49.



Gambar 2. 12. Sistem suspensi kendaraan yang dilengkapi dengan *Anti Roll Bar* [8].

2.2.6. Pengaruh Kekakuan Ban pada Perilaku Arah Kendaraan

Peran kekakuan ban terhadap perilaku arah kendaraan yaitu bersamaan dengan sistem suspensi kendaraan untuk melawan terjadinya *body roll* ketika kendaraan berbelok. Untuk ban yang sedang berputar (*rolling*), Phillips telah melakukan pengujian tentang kekakuan ban bias dan radial sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

Untuk ban radial:

$$K_t = 430 + 27,9167 (P_i) \quad (2.20)$$

dimana,

K_t = Kekakuan ban [lb/in]

P_i = Tekanan ban [lb]

2.2.7. Pengaruh Kondisi Permukaan Jalan Terhadap Perilaku Arah Kendaraan

Kondisi permukaan jalan memiliki peran yang penting terhadap perilaku arah kendaraan terutama dalam menahan gaya lateral yang terjadi pada kendaraan, dengan cara menimbulkan gaya gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan. Berikut ini merupakan hasil studi dari J. J. Taborek mengenai koefisien

adhesi rata-rata antara ban dan jalan untuk beberapa jenis permukaan jalan yang ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Besarnya gaya hambat *rolling* (R_r) yang terjadi antara permukaan jalan dengan ban kendaraan adalah sebagai berikut:

$$R_r = f_r \cdot W \quad (2.21)$$

$$\bullet \quad R_{rf} = f_r \cdot W_f \quad (2.22)$$

$$\bullet \quad R_{rr} = f_r \cdot W_r \quad (2.23)$$

dimana W adalah berat total dari kendaraan, W_f dan W_r ialah berat kendaraan bagian depan dan belakang sedangkan f_r merupakan koefisien hambatan *rolling* antara ban dengan permukaan jalan seperti yang tertera pada tabel 2.2.

Tabel 2. 1. Koefisien adhesi ban pada bermacam-macam jenis permukaan jalan [5].

Permukaan Jalan	Koefisien Adhesi Tertinggi (μ_p)	Koefisien Adhesi Roda Lock (μ_s)
Aspal dan beton (kering)	0,8 - 0,9	0,75
Aspal (basah)	0,5 – 0,7	0,55 – 0,6
Beton (basah)	0,8	0,7
Gravel	0,6	0,55
Jalan tanah (kering)	0,68	0,65
Jalan tanah (basah)	0,55	0,4 – 0,5
Snow	0,2	0,15
Ice	0,2	0,07

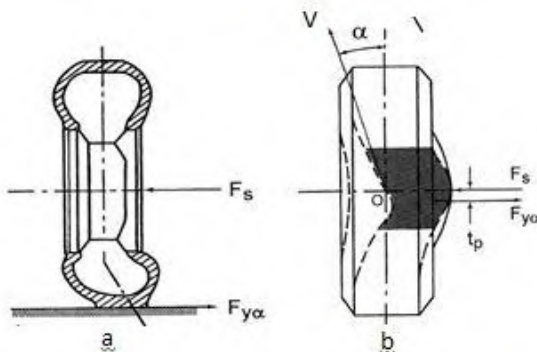
Tabel 2. 2. Nilai rata-rata koefisien hambatan *rolling* untuk berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi permukaan jalan [5].

Jenis Kendaraan	Permukaan Jalan		
	Beton	Keras/Aspal	Pasir
Kendaraan penumpang	0,015	0,08	0,3
Truk	0,012	0,06	0,25
Traktor	0,020	0,04	0,2

2.2.8. Mengukur Perilaku Arah Kendaraan

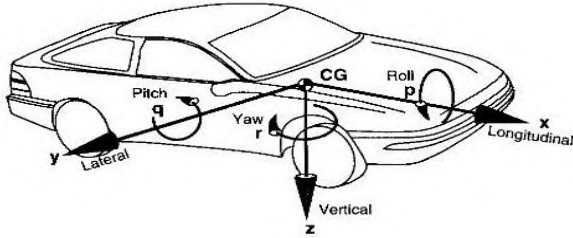
2.2.8.1. Analisa Slip

Ketika ban berputar dan tidak terjadi gaya samping yang tegak lurus dengan bidang ban, ia akan bergerak pada arah bidang ban. Jika pada ban tersebut terjadi gaya samping pada pusat ban maka ban akan mengalami deformasi lateral seperti yang ditunjukkan gambar 2.13a dan 2.13b. Gambar 2.13a menunjukkan adanya gaya samping yang menyebabkan terjadinya deformasi pada ban sehingga arah putaran ban mengalami pergeseran sejauh sudut α seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13b. Sudut itulah yang dinamakan sebagai sudut *slip* yang terjadi pada ban. Berdasarkan besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dan belakang dapat diketahui perilaku arah belok dari kendaraan tersebut. Metode tersebut dikenal dengan sebutan metode analisa *slip*.



Gambar 2. 13. Mekanisme terjadinya sudut *slip* pada ban [5].

Untuk mengetahui perilaku arah belok kendaraan dengan metode analisa *slip* perlu dilakukan analisa terhadap gaya-gaya yang terjadi pada kendaraan sesuai sistem sumbu yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Dengan melakukan analisa terhadap *bicycle model* kendaraan seperti pada gambar 2.15, dapat diketahui gaya-gaya yang terjadi pada ban kendaraan yang sedang berbelok.



Gambar 2. 14. SAE *vehicle axis system* [9].

Berdasarkan gambar 2.15 didapatkan persamaan untuk menentukan sudut belok dan sudut *slip* kendaraan pada bagian depan dan belakang yaitu sebagai berikut:

$$\alpha_f = \frac{\alpha_{f2} + \alpha_{f3}}{2} \quad (2.24)$$

$$\alpha_r = \frac{\alpha_{r1} + \alpha_{r4}}{2} \quad (2.25)$$

Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan saat berbelok yaitu:

$$F_{cx} = F_c \cdot \sin \beta \quad (2.26)$$

$$\bullet F_{cfx} = \left(\frac{L_r}{L} \right) F_c \cdot \sin \beta \quad (2.27)$$

$$\bullet F_{crx} = \left(\frac{L_f}{L} \right) F_c \cdot \sin \beta \quad (2.28)$$

$$F_{cy} = F_c \cdot \cos \beta \quad (2.29)$$

$$\bullet F_{cfy} = \left(\frac{L_r}{L} \right) F_c \cdot \cos \beta \quad (2.30)$$

$$\bullet F_{cry} = \left(\frac{L_f}{L} \right) F_c \cdot \cos \beta \quad (2.31)$$

dimana,

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (2.32)$$

Sedangkan gaya hambat aerodinamika yang terjadi pada kendaraan saat berbelok yaitu:

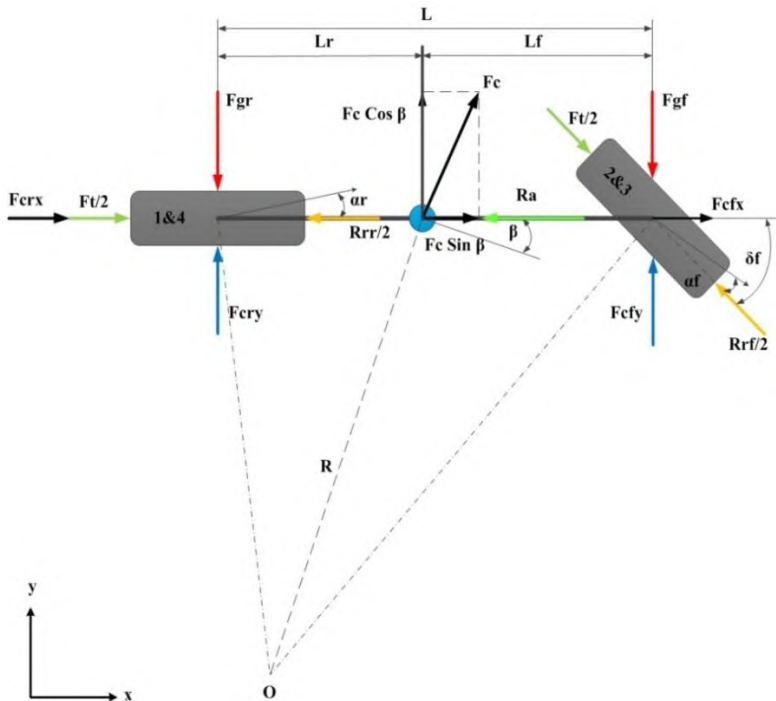
$$R_a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 \quad (2.33)$$

$$\bullet \quad R_{af} = \left(\frac{L_r}{L} \right) R_a \quad (2.34)$$

$$\bullet \quad R_{ar} = \left(\frac{L_f}{L} \right) R_a \quad (2.35)$$

Gaya dorong kendaraan yang terjadi pada kendaraan dengan kecepatan konstan yaitu:

$$F_t = R_a + R_r \quad (2.36)$$



Gambar 2. 15. *Free body diagram* kendaraan saat berbelok dengan *bicycle model*.

dimana,

m = Massa kendaraan [kg]

- V = Kecepatan kendaraan belok [m/s]
 R = Radius belok jalan [m]
 F_c = Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan [N]
 F_{cx} = Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan ke arah longitudinal [N]
 F_{cy} = Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan ke arah lateral [N]
 F_{cfx} = Gaya sentrifugal ke arah longitudinal yang terjadi pada roda depan [N]
 F_{crx} = Gaya sentrifugal ke arah longitudinal yang terjadi pada roda belakang [N]
 F_{cfy} = Gaya sentrifugal ke arah lateral yang terjadi pada roda depan [N]
 F_{cry} = Gaya sentrifugal ke arah lateral yang terjadi pada roda belakang [N]
 F_t = Gaya dorong kendaraan dengan kecepatan konstan [N]
 R_a = Gaya hambat aerodinamika kendaraan [N]
 R_{af} = Gaya hambat aerodinamika yang diterima oleh roda depan [N]
 R_{ar} = Gaya hambat aerodinamika yang diterima oleh roda belakang [N]
 R_r = Gaya hambat *rolling* yang terjadi pada ban kendaraan [N]
 ρ = Densitas udara pada suhu ruang (27 °C) [1,2 Kg/m³]
 C_D = Koefisien gaya hambat (drag) kendaraan
 A_f = Luas frontal kendaraan [m²]

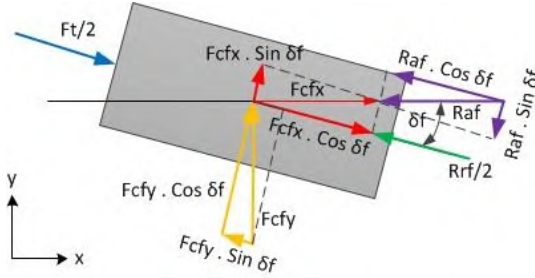
Selanjutnya yaitu melakukan analisa gaya longitudinal (F_x) dan lateral (F_y) yang terjadi pada setiap roda. *Free body diagram* dari gaya-gaya yang terjadi pada roda bagian depan dan belakang dapat dilihat pada gambar 2.16 dan 2.17. Gaya longitudinal (F_x) yang terjadi pada setiap ban adalah sebagai berikut:

$$F_{x1} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_f}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right] \quad (2.37)$$

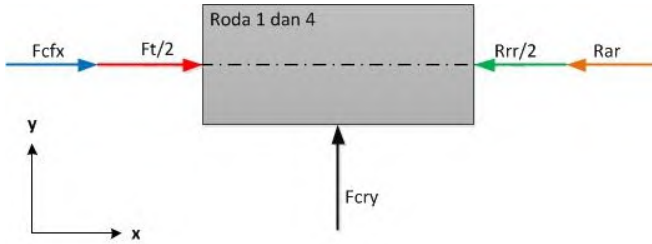
$$F_{x2} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rf} \right] \quad (2.38)$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rf} \right] \quad (2.39)$$

$$F_{x4} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right] \quad (2.40)$$



Gambar 2. 16. Gaya-gaya yang terjadi pada roda depan kendaraan.



Gambar 2. 17. Gaya-gaya yang terjadi pada roda belakang kendaraan.

Gaya lateral (F_y) yang terjadi pada setiap ban adalah sebagai berikut:

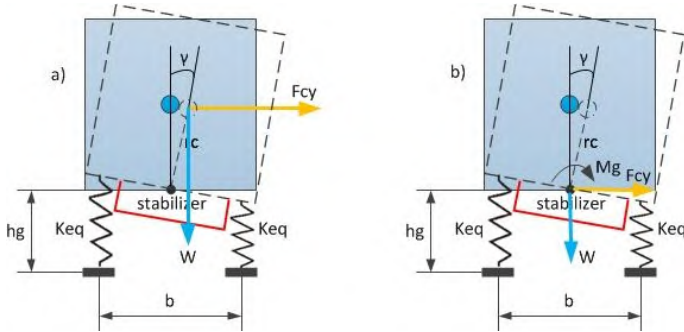
$$F_{y1} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2L} F_{cy} \quad (2.41)$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right] \quad (2.42)$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right] \quad (2.43)$$

$$F_{y4} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2L} F_{cy} \quad (2.44)$$

Untuk menganalisa besarnya gaya vertikal (F_z) yang terjadi pada kendaraan belok perlu diperhatikan adanya pengaruh dari sistem suspensi dan kekakuan vertikal ban kendaraan yang dapat menimbulkan momen guling (M_g) dan momen *pitching* (M_p). Secara sederhana sistem suspensi yang ada pada kendaraan pada umumnya dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. 18. Analisa gaya-gaya yang terjadi pada model sistem suspensi kendaraan.

$$K_{eq} = \frac{(K_s + R_s) \cdot K_{teq}}{(K_s + R_s) + K_{teq}} \quad (2.45)$$

$$K_{teq} = \left(\frac{t}{b}\right)^2 \cdot K_t \quad (2.46)$$

Berdasarkan gambar 2.18 a) dan b) di atas dapat diketahui bahwa,

$$M_g = F_{cy} \cdot r_c + W \cdot \gamma \cdot r_c \quad (2.47)$$

Adanya momen guling yang terjadi pada kendaraan, menyebabkan timbulnya momen pada sistem suspensi sebagai hubungan aksi dan reaksi maka,

- $$M_{gf} = K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_f$$

$$\frac{L_r}{L} (F_{cy} \cdot r_c + W \cdot \gamma_f \cdot r_c) = K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_f$$

$$\gamma_f = \frac{\frac{L_r}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c} \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{gr} &= K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma_r \\ \frac{L_f}{L} (F_{cy} \cdot r_c + W \cdot \gamma_r \cdot r_c) &= K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma_r \\ \gamma_r &= \frac{\frac{L_f}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c} \end{aligned} \quad (2.49)$$

dimana,

K_s = Kekakuan pegas suspensi

K_t = Kekakuan ban

K_{teq} = Kekakuan ban ekuivalen setelah dilakukan pergeseran titik kerja gaya

b = Jarak antar pegas suspensi kanan dan kiri

t = Jarak antar sumbu roda depan atau belakang

M_{gf} = Momen guling yang terjadi pada roda depan kendaraan [N.m]

M_{gr} = Momen guling yang terjadi pada roda belakang kendaraan [N.m]

h_{gf} = Jarak pusat guling kendaraan bagian depan dengan permukaan jalan [m]

h_{gr} = Jarak pusat guling kendaraan bagian belakang dengan permukaan jalan [m]

r_c = Jarak pusat massa kendaraan terhadap sumbu gulingnya [m]

R_{sf} = *Spring rate stabilizer* depan [N/m]

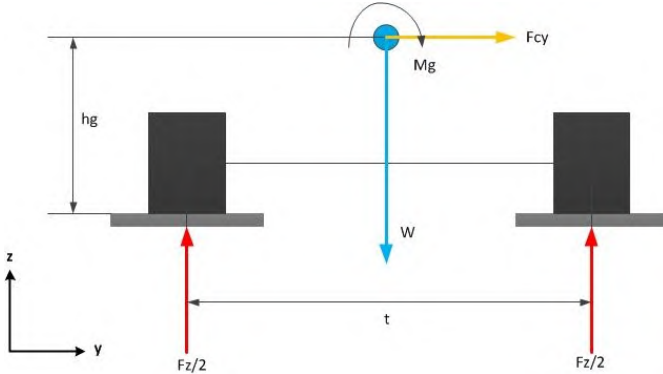
R_{sr} = *Spring rate stabilizer* belakang [N/m]

γ = Sudut guling (*rolling*) kendaraan [Radian]

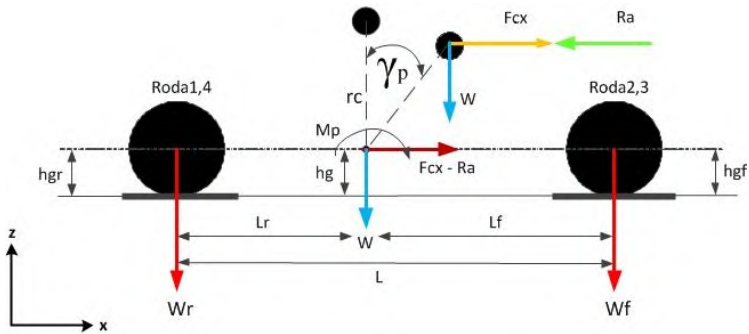
γ_f = Sudut guling (*rolling*) kendaraan pada bagian depan [Radian]

γ_r = Sudut guling (*rolling*) kendaraan pada bagian belakang [Radian]

Setelah itu melakukan analisa gaya vertikal (F_z) yang terjadi pada setiap roda seperti yang tampak pada gambar 2.19 dan 2.20.



Gambar 2. 19. *Lateral transfer load* yang dilakukan pada kendaraan.



Gambar 2. 20. *Longitudinal transfer load* yang dilakukan pada kendaraan.

Berdasarkan gambar 2.20 di atas, dapat diketahui besarnya momen anguk (*pitching*) yang terjadi pada kendaraan yaitu:

$$M_p = (F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c \quad (2.50)$$

Besarnya momen angguk yang terjadi pada kendaraan harus mampu ditahan oleh momen yang diberikan oleh sistem suspensi, sehingga sudut angguk yang terjadi yaitu:

$$\gamma_p = \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \quad (2.51)$$

Berdasarkan gambar 2.19 dan 2.20 besarnya gaya vertikal yang terjadi pada setiap ban kendaraan adalah sebagai berikut:

$$F_{z1} = \frac{L_f}{2L} W - \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} - \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L} \quad (2.52)$$

$$F_{z2} = \frac{L_r}{2L} W - \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} - \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L} \quad (2.53)$$

$$F_{z3} = \frac{L_r}{2L} W + \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} + \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L} \quad (2.54)$$

$$F_{z4} = \frac{L_f}{2L} W + \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} + \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L} \quad (2.55)$$

Dengan demikian, besarnya gaya normal yang terjadi pada roda depan dan belakang kendaraan yaitu:

$$W_f = \frac{L_r}{L} W + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{L} \quad (2.56)$$

$$W_r = \frac{L_f}{L} W - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{L} \quad (2.57)$$

Besarnya sudut *slip* yang terjadi pada setiap roda kendaraan melalui persamaan berikut ini,

$$\alpha_1 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})] \quad (2.58)$$

dimana,

α_i = Sudut *slip* yang terjadi pada setiap roda/ban [°]

$F_{y\alpha_i}$ = Gaya belok (lateral) yang terjadi pada setiap roda/ban [lb]

F_{z_i} = Gaya normal yang terjadi pada setiap roda/ban [lb]

F_x = Gaya longitudinal yang terjadi pada kendaraan [lb]

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \quad (2.59)$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \quad (2.60)$$

P = Tekanan aktual ban kendaraan [Psi]

P_s = Tekanan standar ban kendaraan [25 Psi]

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\alpha i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (2.61)$$

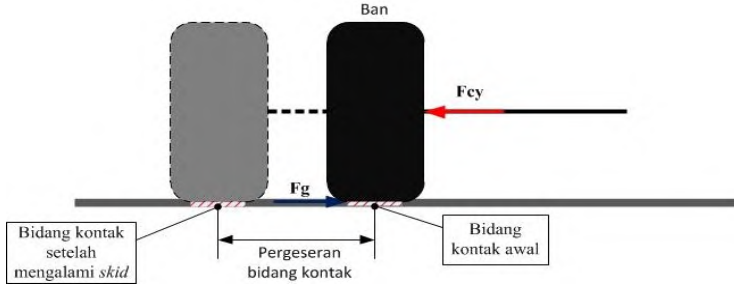
$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\alpha i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (2.62)$$

Hubungan antara α_f° dan α_r° terhadap perilaku kendaraan saat berbelok adalah sebagai berikut, apabila:

- $\alpha_f > \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *understeer*
- $\alpha_f = \alpha_r$, maka kendaraan mempunyai perilaku netral saat berbelok
- $\alpha_f < \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *oversteer*

2.2.8.2. Analisa Skid

Pada saat kendaraan berbelok akan terjadi gaya kesamping yang dapat memungkinkan roda depan atau roda belakang mengalami *skid*. *Skid* merupakan kondisi dimana adanya pergeseran bidang kontak antara ban kendaraan dengan permukaan jalan yang disebabkan oleh gaya lateral yang terjadi ketika kendaraan berbelok sudah tidak mampu lagi ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara ban dengan permukaan jalan. Terjadinya *skid* dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2. 21. Ilustrasi ban kendaraan ketika mengalami *skid* saat berbelok.

Agar kendaraan tidak mengalami *skid* maka besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda depan (F_{cfy}) dan belakang (F_{cry}) harus mampu ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara ban dan permukaan jalan, sehingga besarnya F_{cfy} dan F_{cry} dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$F_{cfy} = W_f \cdot \mu = \mu \left(\frac{L_r}{L} W + \left(\frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} \right) + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{L} \right) \quad (2.63)$$

$$F_{cry} = W_r \cdot \mu = \mu \left(\frac{L_f}{L} W - \left(\frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} \right) - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{L} \right) \quad (2.64)$$

Dengan mengoperasikan ruas kanan dan kiri secara matematis maka akan didapatkan formulasi untuk mengetahui batas kecepatan maksimum *skid* roda depan (V_{sf}) dan *skid* roda belakang (V_{sr}) seperti berikut:

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_r \cdot W}{\left(\frac{L_r \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) - \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right) \right)}}$$

(2.65)

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_f \cdot W}{\left(\frac{L_f \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) + \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)\right)}} \quad (2.66)$$

dimana,

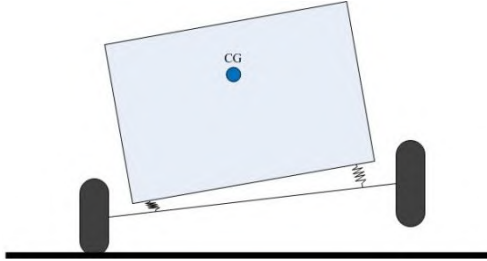
- μ = Koefisien gesek antara ban dengan permukaan jalan
- V_{sf} = Kecepatan maksimum kendaraan sebelum mengalami *skid* depan [m/s]
- V_{sr} = Kecepatan maksimum kendaraan sebelum mengalami *skid* belakang [m/s]

Melalui persamaan-persamaan di atas akan diketahui beberapa perilaku kendaraan saat berbelok yaitu,

- Jika $V_{sf} < V_{sr}$, roda depan akan lebih dahulu mengalami *skid* daripada roda belakang sehingga kendaraan akan mengalami *understeer*.
- Jika $V_{sf} > V_{sr}$, roda belakang akan lebih dahulu mengalami *skid* daripada roda depan sehingga kendaraan akan mengalami *oversteer*.

2.2.8.3. Analisa Guling

Analisa guling (*rolling*) digunakan untuk mencari kondisi terangkatnya salah satu roda depan atau belakang. Kendaraan dapat dikatakan mengalami guling (*rolling*) ketika salah satu roda bagian depan atau belakang terangkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.22. Hal itu dapat dijumpai ketika gaya vertikal (F_z) yang terjadi pada salah satu roda terluar kendaraan yang berbelok besarnya sama dengan 0 (nol) atau bernilai negatif. Berikut adalah ilustrasi mengenai kendaraan yang mengalami *rolling*.



Gambar 2. 22. Ilustrasi kendaraan ketika mengalami *rolling* saat berbelok.

Berdasarkan persamaan (2.52) dan (2.53) dapat diketahui bahwa kendaraan akan mengalami kondisi terguling depan jika,

$$F_{z2} = 0$$

$$\frac{L_r}{2L} W - \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} - \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L} = 0$$

Dengan mengoperasikan ruas kanan dan kiri secara matematis maka akan didapatkan formulasi untuk mengetahui batas kecepatan maksimum kendaraan terguling depan yaitu sebagai berikut,

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{L_r \cdot W \cdot t_f}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) \left(L_r \cdot h_{gf} + L_r \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_r^2}{L}}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c} \right) - t_f \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(h_{gf} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right)}} \quad (2.67)$$

Dengan metode yang sama maka dapat diketahui pula bahwa kendaraan akan mengalami kondisi terguling belakang jika,

$$F_{z1} = 0$$

$$\frac{L_f}{2L} W - \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} - \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L} = 0$$

sehingga,

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{L_f \cdot W \cdot t_r}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) \left(L_f \cdot h_{gr} + L_f \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_f^2}{L}}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c} \right) + t_r \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(h_{gr} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right)}} \quad (2.68)$$

dimana,

V_{gf} = Kecepatan maksimum kendaraan sebelum roda depan terguling [m/s]

V_{gr} = Kecepatan maksimum kendaraan sebelum roda belakang terguling [m/s]

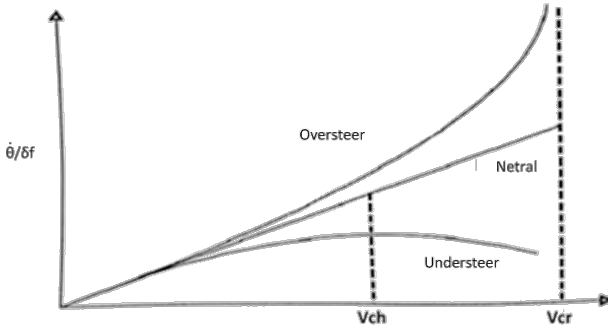
Melalui persamaan-persamaan di atas akan diketahui beberapa perilaku kendaraan saat berbelok yaitu,

- Jika $V_{gf} < V_{gr}$, salah satu roda depan akan lebih dahulu terangkat daripada roda belakang sehingga kendaraan akan mengalami *understeer*.
- Jika $V_{gf} > V_{gr}$, salah satu roda belakang akan lebih dahulu terangkat daripada roda depan sehingga kendaraan akan mengalami *oversteer*.

2.2.8.4. Mengukur Perilaku Arah Kendaraan Berdasarkan Nilai K_{US} (*Understeer index*)

Dalam menentukan perilaku arah kendaraan saat berbelok menggunakan metode ini akan dicari besarnya *understeer index* (K_{US}) dan kecepatan karakteristik kendaraan (V_{ch}). Jika nilai $K_{US} = 0$ maka kendaraan memiliki perilaku netral, jika K_{US} bernilai positif maka kendaraan berperilaku *understeer*, dan jika K_{US} bernilai negatif maka kendaraan berperilaku *oversteer*. Sedangkan kecepatan karakteristik ialah kecepatan maksimum yang boleh dilakukan oleh kendaraan *understeer*. Jika melebihi kecepatan tersebut maka ia menjadi sangat sulit berbelok seperti yang tertera

pada gambar 2.23. Pada gambar tersebut juga ditunjukkan kecepatan kritis untuk kendaraan yang *oversteer* (V_{cr}).



Gambar 2. 23. Kecepatan karakteristik dan kritis kendaraan [5].

Berdasarkan persamaan (2.15), persamaan sudut belok roda depan kendaraan yaitu:

$$\delta_f^\circ = \frac{(L_f + L_r)}{R} 57,29 + \alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ \quad (2.69)$$

Besarnya sudut *slip* pada roda depan (α_f°) dan belakang (α_r°) tergantung pada gaya sentrifugal atau percepatan lateral yang terjadi. Dengan demikian,

$$\begin{aligned} \alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ &= K_f \frac{V^2}{g \cdot R} - K_r \frac{V^2}{g \cdot R} \\ &= (K_f - K_r) \frac{V^2}{g \cdot R} \\ &= K_{US} \cdot \frac{V^2}{g \cdot R} \\ K_{US} &= \frac{g \cdot R}{V^2} (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \end{aligned} \quad (2.70)$$

dimana,

K_f, K_r = Konstanta kekakuan lateral roda depan dan belakang
 K_{US} = *Understeer index*

V = Kecepatan kendaraan belok [m/s]
 g = Percepatan gravitasi [9,81 m/s²]

Dari rumusan kinematika, didapatkan bahwa kecepatan putaran bodi yaitu:

$$\dot{\theta} = \frac{V}{R} \quad (2.71)$$

Dengan demikian maka persamaan (2.71) menjadi sebagai berikut:

$$\frac{\dot{\theta}}{\delta_f} = \frac{V}{(L_f + L_r) 57,29 + K_{US} \cdot \frac{V^2}{g}} \quad (2.72)$$

dengan metode diferensial akan didapatkan besarnya V_{ch} sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{d}{du} \left[\frac{\dot{\theta}}{\delta_f} \right] &= 0, \text{ maka} \\ V_{ch} &= \sqrt{\frac{(L_f + L_r) 57,29 \cdot g}{K_{US}}} \end{aligned} \quad (2.73)$$

Untuk kecepatan kritis (V_{cr}) terjadi pada saat $\frac{\dot{\theta}}{\delta_f}$ bernilai tak hingga oleh sebab itu,

$$\begin{aligned} (L_f + L_r) 57,29 + K_{US} \cdot \frac{V^2}{g} &= 0 \\ V_{cr} &= i \sqrt{- \left[\frac{(L_f + L_r) 57,29 \cdot g}{K_{US}} \right]} \end{aligned} \quad (2.74)$$

Pada dasarnya V_{cr} secara nyata tidak dapat dikalkulasi, sehingga pada saat melakukan uji jalan pada kendaraan V_{cr} tidak dapat dicari. Dalam mencari nilai *understeer index* kendaraan serta kecepatan karakteristik suatu kendaraan, dapat dilakukan beberapa cara yaitu pengujian dengan radius belok tetap, kecepatan belok tetap, dan sudut belok tetap. Namun, dalam penelitian kali

ini hanya dilakukan pengujian dengan metode radius belok tetap saja.

2.2.9. Pengujian Dengan Radius Belok Tetap untuk Mencari Nilai K_{US} Kendaraan

Konsep dasar pada metode pengujian ini adalah persamaan berikut:

$$\delta_f = \frac{\delta_{sw}}{G} = \frac{(L_f + L_r)}{R} 57,29 + K_{US} \cdot \frac{V^2}{g \cdot R} \quad (2.75)$$

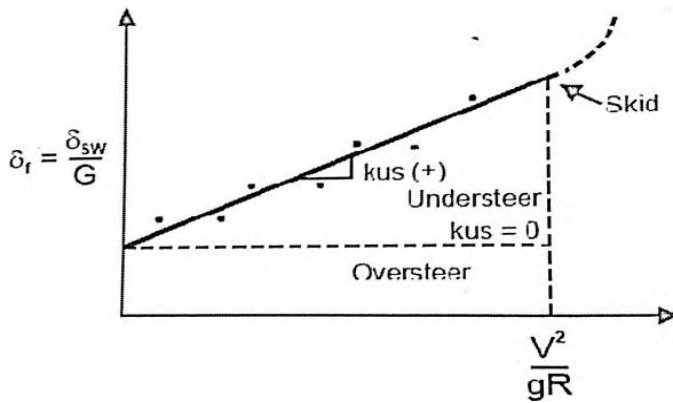
dimana,

δ_{sw} = Sudut putar roda kemudi

G = Perbandingan sudut putar roda kemudi dan sudut putar roda depan

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Menentukan radius belok R yang akan dijaga konstan selama pengujian.
- Membelokkan kendaraan pada kecepatan tertentu (V_1), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius R . kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f1}).
- Menaikkan kecepatan belok kendaraan sampai kecepatan tertentu (V_2), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius R . kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f2}).
- Mengulangi langkah c hingga beberapa kali sampai kendaraan mengalami *skid*.
- Mengeplotkan data-data pengujian yang berupa sudut belok (δ_f) dan kecepatan belok (V) dalam bidang absis ($\frac{V^2}{g \cdot R}$) dan ordinat (δ_f) seperti pada gambar 2.24.
- Membuat garis lurus dengan regresi linear terhadap data-data hasil pengujian di atas. Besarnya nilai K_{US} merupakan *slope* dari garis lurus yang dibuat dari data-data di atas.



Gambar 2. 24. Kurva hasil pengujian dengan metode radius belok tetap [5].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

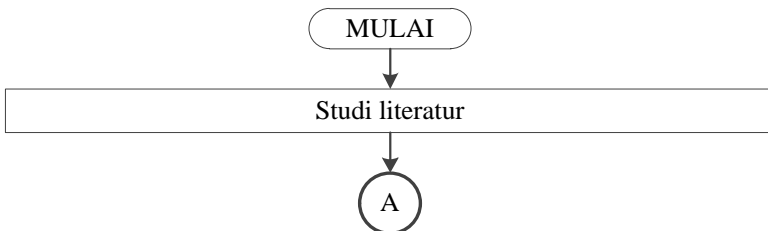
BAB 3

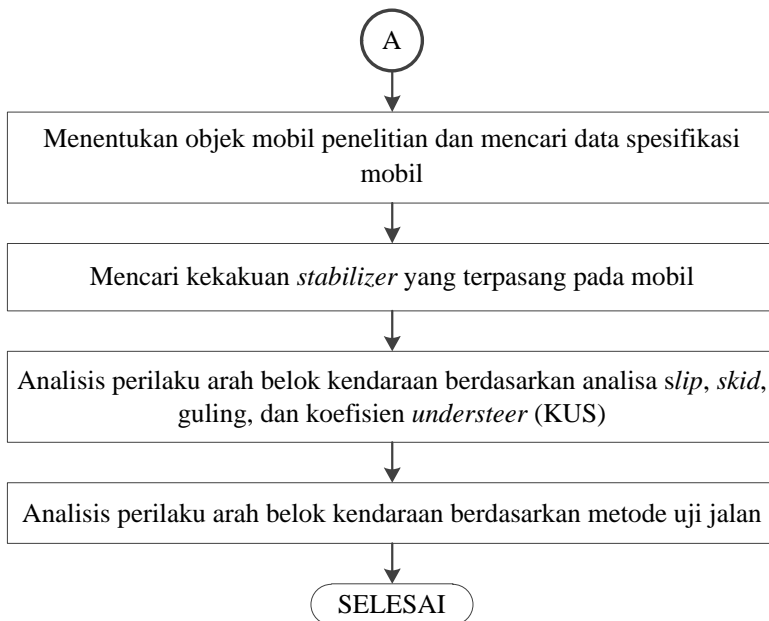
METODOLOGI

3.1. Prosedur Penelitian

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, terdapat lima tahapan yang akan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut, tahap pertama yakni melakukan studi literatur terhadap sumber-sumber referensi seperti: buku, jurnal, dan penelitian terdahulu tentang perilaku arah belok kendaraan pada mobil yang sudah ada serta mencari kelebihan dan kekurangannya. Tahap kedua, menentukan objek mobil yang akan diteliti dan mencari data spesifikasinya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, mobil yang akan diteliti ialah mobil “Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4) tahun 2014”. Tahap ketiga yaitu mencari kekakuan dari *stabilizer bar* yang terpasang pada sistem suspensi kendaraan. Tahap keempat, melakukan analisis perilaku arah belok kendaraan tersebut berdasarkan analisa *slip*, *skid*, dan guling untuk mendapatkan besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban, batas kecepatan *skid* dan guling, serta nilai K_{us} kendaraan berdasarkan pengaruh dari beberapa parameter operasional yang divarisasikan dan penggunaan *stabilizer*. Tahap kelima, melakukan uji jalan terhadap mobil Toyota Fortuner dengan metode radius belok tetap untuk mengetahui perilaku arah belok kendaraan tersebut.

3.2. Flowchart Penelitian





3.3. Prosedur Perhitungan dan Analisis

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan dan analisis perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari data-data tentang spesifikasi kendaraan mobil Toyota Fortuner sebagai input.
2. Mengumpulkan data input lain yang akan divariasikan dalam perhitungan, seperti variasi jumlah berat penumpang, kecepatan, sudut belok kendaraan, kondisi permukaan jalan, tekanan ban pada kendaraan, dan kekakuan *stabilizer*.
 - Jumlah penumpang yang divariasikan yaitu: 1, 2, 4, dan 7 orang dengan berat badan masing-masing 70 Kg.
 - Kecepatan yang divariasikan yaitu: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 km/jam.
 - Sudut belok yang divariasikan yaitu: 7,81°; 15,62°; 23,44°; dan 31,25°.

- letak titik berat penumpang dari sumbu roda depan, $a = 1370, 2140, 3050$ mm. Tinggi titik berat penumpang dari tanah = 850 mm
- Koefisien adhesi jalan datar:
 - μ jalan aspal kering = 0,9
 - μ jalan aspal basah = 0,7
 - μ jalan tanah kering = 0,68
 - μ jalan tanah basah = 0,55

3. Mencari perubahan letak titik berat kendaraan akibat adanya penambahan berat penumpang dengan persamaan:

$$W_r \cdot L = W_p \cdot a + W_k \cdot L_f$$

$$L_f' = \frac{W_p \cdot a + W \cdot L_f}{W_t}$$

$$h_r = \frac{W_{f\theta} \cdot L - W \cdot L_r}{W \tan \theta}$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p}$$

4. Mencari Radius belok *ackerman* kendaraan dengan persamaan:

$$R_{ack} = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ} 57,29 = \left(\frac{L}{\delta_f^\circ} \right) 57,29$$

5. Mencari sudut *side slip* (β) kendaraan dengan persamaan:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{l_r}{R_{ack}} \right)$$

6. Menghitung besarnya gaya sentrifugal (F_c) yang terjadi dengan persamaan:

$$F_c = \frac{m \cdot V^2}{R}$$

7. Menghitung gaya dorong, gaya hambat aerodinamika, dan hambatan *rolling* yang terjadi pada kendaraan dengan persamaan:

$$F_t = R_a + R_r$$

$$R_{af} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2$$

$$R_r = f_r + W \text{ (Perhitungan } R_r \text{ dilakukan pada setiap ban)}$$

8. Mencari besarnya kekakuan *stabilizer bar* yang terpasang pada kendaraan.

9. Menghitung besarnya kekakuan masing-masing ban dengan persamaan:

$$K_t = 430 + 27,9167 (P_i)$$

10. Mencari besarnya konstanta pegas dan ban *equivalen* dengan persamaan:

$$K_{eq} = \frac{(K_s + R_s) \cdot K_{teq}}{(K_s + R_s) + K_{teq}}$$

11. Menghitung besarnya momen guling (M_g) dan momen *pitching* (M_p) yang terjadi pada kendaraan.

12. Menghitung gaya reaksi pada sumbu x,y dan z (F_x , F_y , F_z) yang diterima oleh masing-masing ban.

13. Menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan analisis *skid*

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{\frac{\mu \cdot L_r \cdot W}{\left(\frac{L_r \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) - \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)\right)}}{1}}$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_f \cdot W}{\left(\frac{L_f \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) + \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)\right)}}$$

14. Menghitung kecepatan maksimum kendaraan berdasarkan analisis guling.

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{L_r \cdot W \cdot t_f}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_r \cdot h_{gf} + L_r \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_r^2}{L}}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c}\right) - t_f \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(h_{gf} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)}}$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{L_f \cdot W \cdot t_r}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_f \cdot h_{gr} + L_f \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_f^2}{L}}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c}\right) + t_r \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(h_{gr} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)}}$$

15. Menghitung sudut *slip* pada masing-masing ban ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$), sudut *slip* pada roda depan merupakan rata-rata dari kedua sudut *slip* yang terjadi pada ban depan sebelah kiri dan kanan, $\alpha_f = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}$. Begitu pula dengan menghitung sudut *slip* pada roda belakang, $\alpha_r = \frac{(\alpha_3 + \alpha_4)}{2}$.

16. Menghitung radius belok nyata kendaraan dengan persamaan:

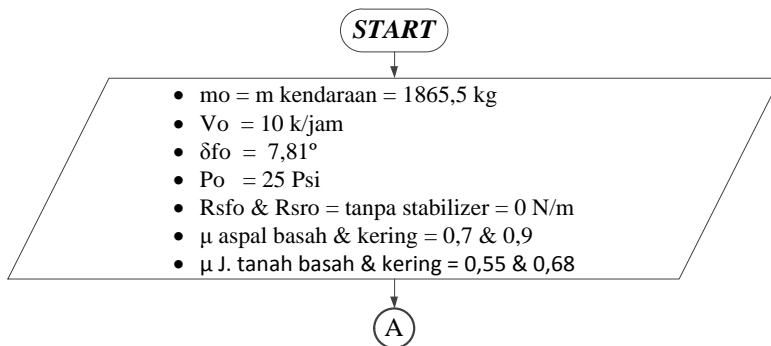
$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

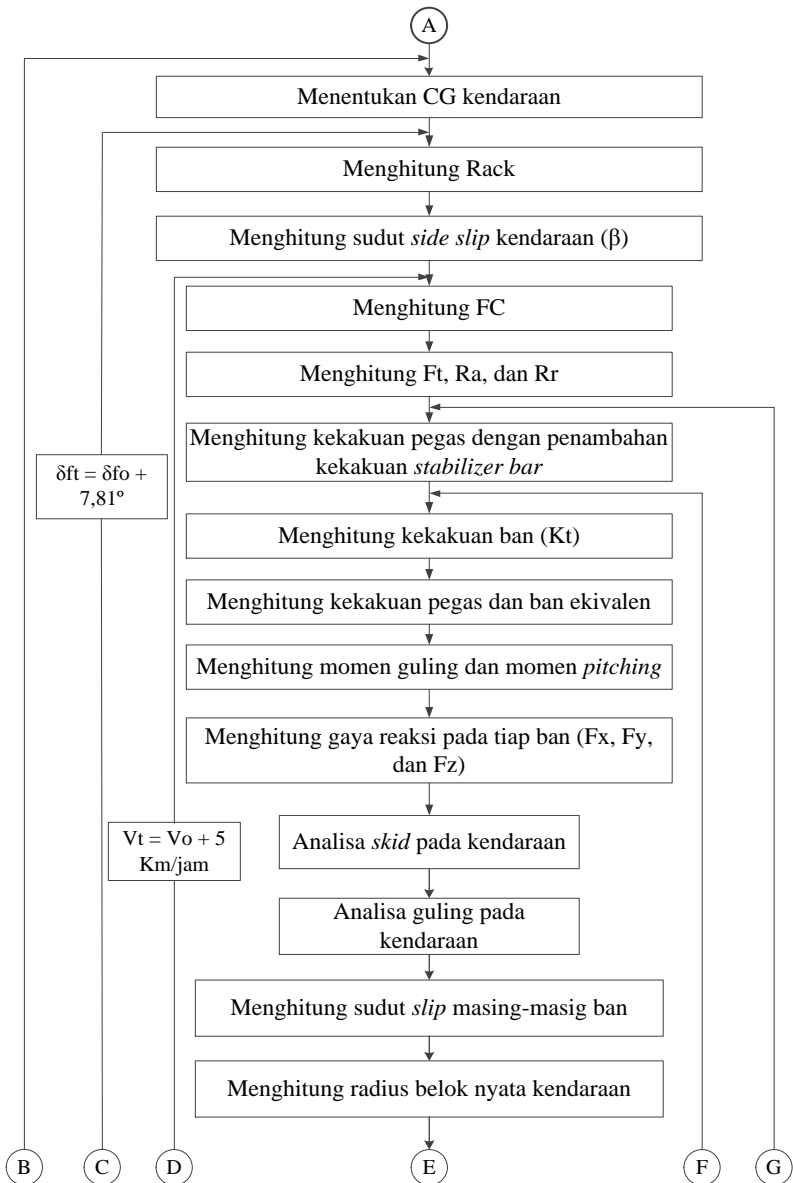
17. Menghitung besarnya Koefisien *Understeer* (K_{US}) kendaraan.

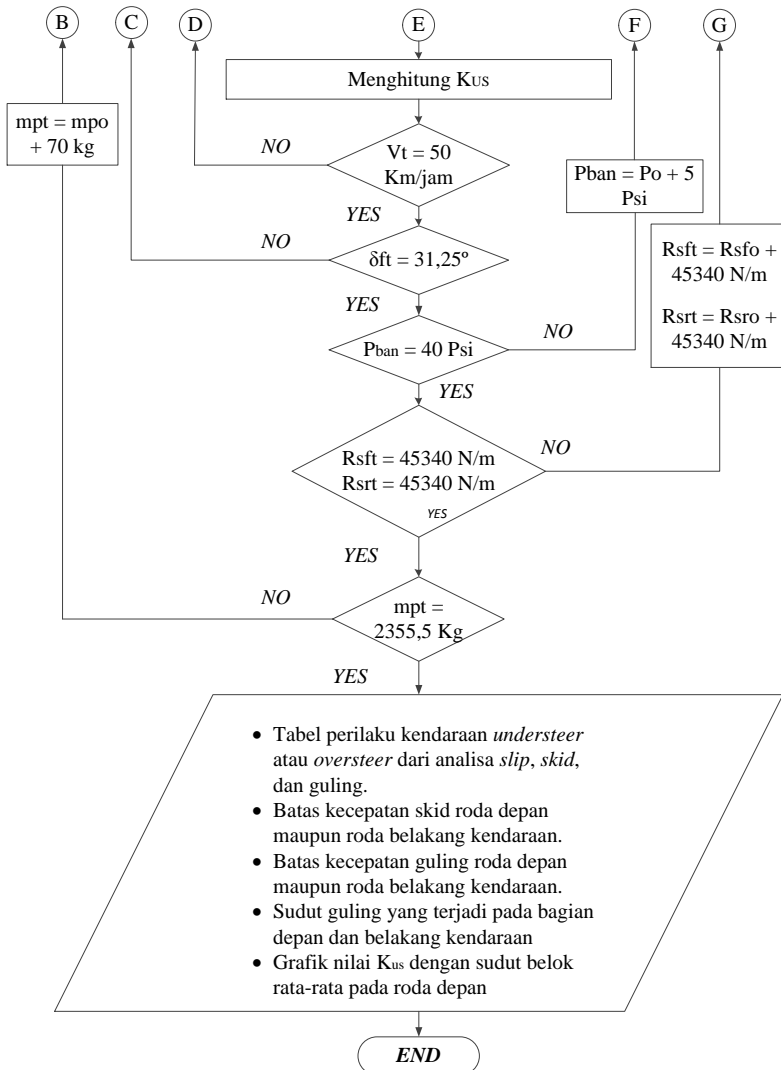
$$K_{US} = \frac{g \cdot R}{V^2} (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ)$$

18. Menganalisis perilaku arah belok kendaraan apakah mengalami kondisi netral, *understeer* atau *oversteer*.
19. Mendapatkan *output* dari analisis perilaku arah kendaraan mobil Toyota Fortuner berupa:
- Tabel perilaku kendaraan dari analisis *slip*, *skid*, dan guling.
 - Kecepatan batas *skid* roda depan dan belakang kendaraan.
 - Kecepatan batas guling roda depan dan belakang kendaraan.
 - Sudut guling yang terjadi pada bagian depan dan belakang kendaraan.
 - Grafik nilai koefisien *understeer* dengan sudut belok rata-rata roda depan.

3.4. Flowchart Perhitungan dan Analisis





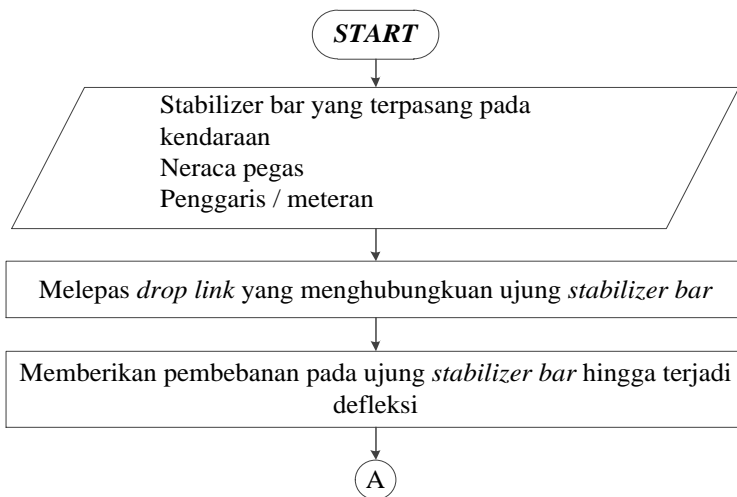


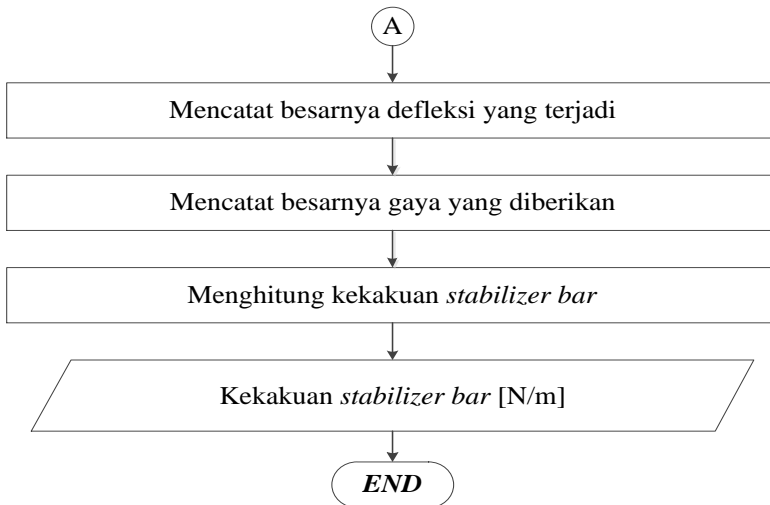
3.5. Prosedur Pengujian untuk Mencari Nilai Kekakuan *Stabilizer Bar*

Nilai dari kekakuan *stabilizer bar* dapat dicari melalui pengujian sederhana sebagai berikut:

1. Melepas salah satu roda mobil
2. Melepas *drop link* yang menghubungkan ujung *stabilizer bar* dengan pegas suspensi.
3. Memberikan pembebanan pada ujung *stabilizer bar* tersebut dengan cara menariknya menggunakan neraca pegas hingga terjadi defleksi.
4. Mencatat besarnya defleksi yang terjadi pada ujung *stabilizer bar* pada saat diberikan pembebanan.
5. Mencatat besarnya gaya yang diberikan untuk mendapatkan besarnya defleksi tersebut.
6. Menghitung kekakuan *stabilizer bar* kendaraan dengan persamaan 2.19.

3.6. *Flowchart* Pengujian untuk Mencari Kekakuan *Stabilizer Bar*





3.7. Prosedur Uji Jalan Kendaraan dengan Metode Radius Belok Tetap

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk mengetahui perilaku arah kendaraan pada mobil Toyota Fortuner dengan metode radius belok tetap adalah sebagai berikut:

1. Menentukan radius belok (R) yang akan dijaga konstan selama pengujian.
2. Menjalankan kendaraan pada jalan aspal dan juga tanah.
3. Membelokkan kendaraan dengan kecepatan tertentu (V_1), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius yang telah ditentukan ($R = 10$ m) kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f1}).
4. Menaikkan kecepatan belok kendaraan hingga mencapai kecepatan tertentu (V_2), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius R . kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f2}).
5. Mengulangi langkah 3 hingga beberapa kali sampai kendaraan mengalami *skid*. Kondisi *skid* pada mobil Toyota

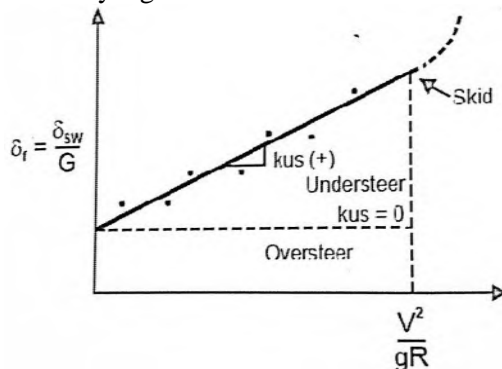
Fortuner ini ditandai dengan lampu indikator *slip* yang menyala.

6. Mencatat data hasil pengujian pada tabel seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Contoh data hasil uji jalan kendaraan dengan metode radius belok tetap.

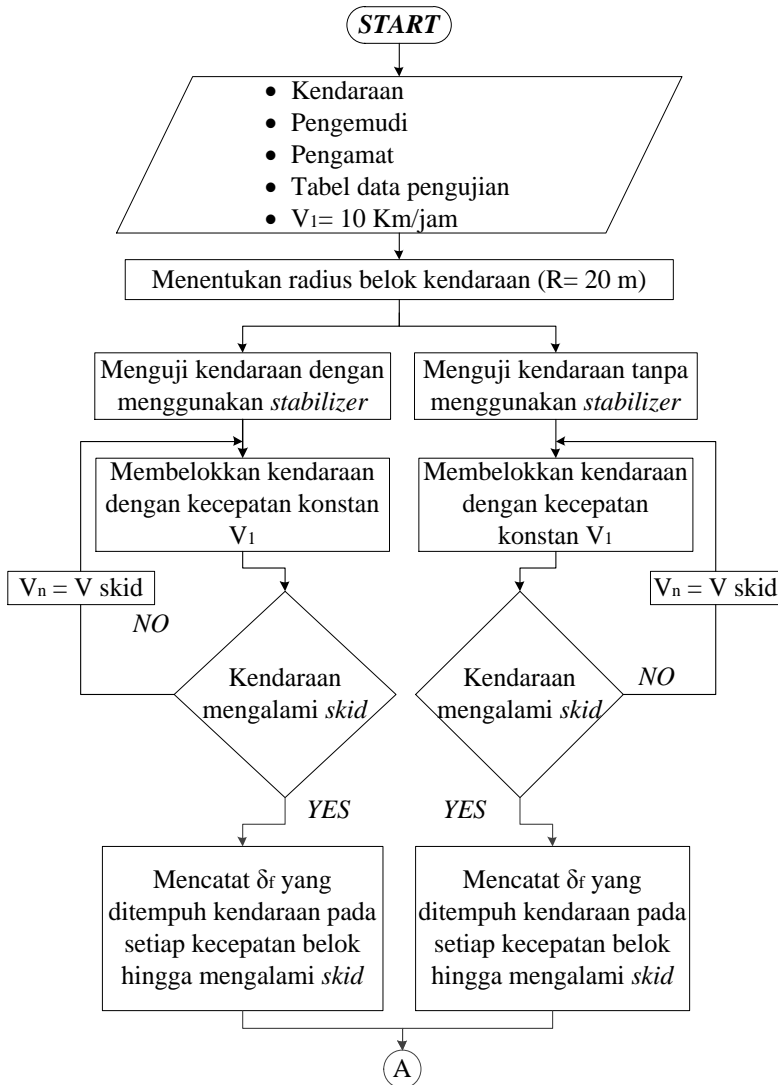
$V(\text{m/s})$	$\delta_f(^{\circ})$	V^2/Rg
V1	δ_{f1}	V_1^2/Rg
V2	δ_{f2}	V_2^2/Rg
V3	δ_{f3}	V_3^2/Rg
.	.	.
.	.	.
V_n	δ_{fn}	V_n^2/Rg

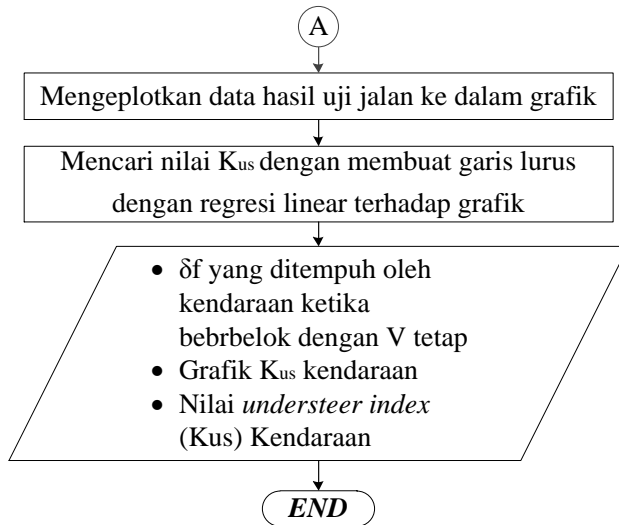
7. Mengeplotkan data-data pengujian yang berupa sudut belok (δ_f) dan kecepatan belok (V) dalam bidang absis ($\frac{V^2}{g \cdot R}$) dan ordinat (δ_f) seperti pada gambar 3.1.
8. Membuat garis lurus dengan regresi linear terhadap data-data hasil pengujian di atas. Besarnya nilai K_{US} merupakan *slope* dari garis lurus yang dibuat dari data-data di atas.



Gambar 3. 1. Kurva hasil pengujian dengan radius belok tetap [5].

3.8. Flowchart Uji Jalan Kendaraan dengan Metode Radius Belok Tetap





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

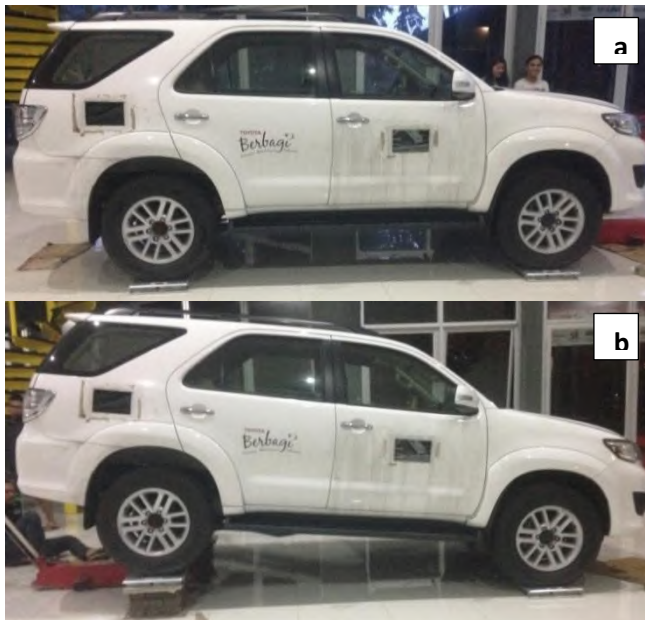
4.1. Data dan Spesifikasi Kendaraan

Sebelum melakukan perhitungan dan menganalisa tentang perilaku arah belok dari suatu kendaraan, sangat penting untuk mengetahui data-data spesifikasi kendaraan terlebih dahulu. Adapun spesifikasi dari mobil Toyota Fortuner yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1. Spesifikasi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR
(AT/4X4).

Dimensi	
Panjang keseluruhan	4705 mm
Lebar keseluruhan	1840 mm
Jarak sumbu roda (L)	2750 mm
Jarak pijak roda depan (t_f)	1540 mm
Jarak pijak roda belakang (t_r)	1540 mm
Jarak suspensi depan (b_f)	1080 mm
Jarak suspensi belakang (b_r)	1080 mm
Radius belok minimum	5900 mm
<i>Ground clearance</i>	220 mm
Massa Kendaraan	
Massa total (M)	1865,5 kg
Massa kendaraan pada bagian depan (M_f)	1031 kg
Massa kendaraan pada bagian belakang (M_r)	834,5 kg
Suspensi	
Depan	<i>Double Wishbone with Coil Spring & Stabilizer</i>
Belakang	<i>4 Link with Lateral Rod & Coil Spring</i>
Kekakuan pegas suspensi depan (K_f)	73,75 N/mm

Kekakuan pegas suspensi belakang (K_r)	53,5 N/mm
Kekakuan <i>stabilizer bar</i> depan (R_{sf})	45,34 N/mm
Aerodinamika	
Luas frontal kendaraan (A_f)	2,48 m ²
Massa jenis angin (ρ)	1,23 kg/m ³
Koefisien drag (C_d)	0,38
Ban	
Tipe ban	265 / 65 R17
Jenis ban	Radial
Diameter <i>rims</i>	17 in
Lebar ban	265 mm



Gambar 4. 1a) Menimbang massa mobil pada posisi datar. b) Menimbang massa mobil pada posisi miring.

Setelah mengetahui spesifikasi dari kendaraan pada tabel 4.1 tersebut kemudian mencari letak posisi titik berat dari mobil dalam kondisi tanpa penumpang sebagai data awal yang harus diketahui sebelum melakukan tahap analisis. Dalam menentukan letak posisi titik berat dari kendaraan, maka kendaraan perlu ditimbang untuk mencari massa bagian depan dan belakangnya pada posisi datar dan juga pada posisi miring dengan sudut kemiringan yang tidak terlalu besar. Hal ini dilakukan dengan cara seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1a dan 4.1b.

Pada tahap pencarian posisi titik berat mobil tanpa penumpang dengan kedua cara tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

- $W_f = 10.114,11 \text{ N}$
- $W_r = 8.186,44 \text{ N}$
- $W_{f0} = 10.300,5 \text{ N}$

Berdasarkan persamaan 2.3, maka dapat didapatkan bahwa,

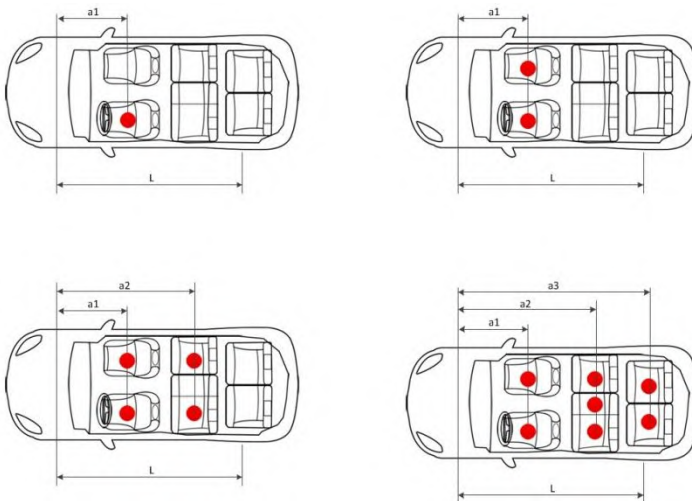
- $L_f = 1,23 \text{ m}$
- $L_r = 1,52 \text{ m}$

Untuk menentukan tinggi titik berat mobil, maka mobil ditimbang dengan posisi miring seperti tampak pada gambar 4.1b) dengan ketinggian sebesar 18 cm, yang mana dengan ketinggian tersebut dapat memberikan sudut tukan sebesar $3,75^\circ$. Kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 2.6 dan 2.7 maka didapatkan tinggi titik berat mobil Toyota Fortuner berada pada 0,4 m di atas tanah.

Setelah mengetahui titik berat awal dari mobil tersebut kemudian mencari perubahan letak posisi titik berat mobil akibat penambahan massa yang disesuaikan dengan variasi jumlah penumpang. Letak duduk penumpang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.2. Sedangkan data hasil perhitungan letak posisi titik berat mobil setelah penambahan massa penumpang yang didapatkan menggunakan persamaan 2.5 dan 2.9 dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Letak posisi titik berat mobil setelah diberikan penambahan massa penumpang.

Jumlah Penumpang	a (m)	Massa Penumpang (kg)	Lf (m)	Lr (m)	h (m)
1	1,37	70	1,235	1,515	0,404
2	1,37	140	1,240	1,510	0,417
4	2,14	280	1,299	1,451	0,439
7	3,05	490	1,455	1,295	0,467



Gambar 4. 2. Letak posisi duduk penumpang sesuai dengan variasi jumlah penumpang.

Data mengenai beberapa variasi dalam parameter operasional yang akan digunakan dalam perhitungan untuk mengetahui perilaku arah belok kendaraan adalah sebagai berikut.

- Variasi kecepatan, $V_1 = 10$ km/jam, $V_2 = 15$ km/jam, $V_3 = 20$ km/jam, $V_4 = 25$ km/jam, $V_5 = 30$ km/jam, $V_6 = 35$ km/jam, $V_7 = 40$ km/jam, $V_8 = 45$ km/jam, $V_9 = 50$ km/jam.

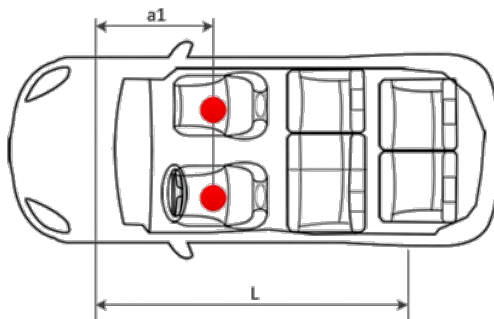
- Variasi sudut belok, $\delta_{f1} = 7,81^\circ$; $\delta_{f2} = 15,62^\circ$; $\delta_{f3} = 23,44^\circ$; $\delta_{f4} = 31,25^\circ$.
- Variasi permukaan jalan, $\mu_{ak} = 0,9$; $\mu_{ab} = 0,7$; $\mu_{tk} = 0,68$; $\mu_{tb} = 0,55$; $f_{ra} = 0,08$; $f_{rt} = 0,3$.
- Variasi tekanan udara ban, $P_1 = 25$ Psi, $P_2 = 30$ Psi, $P_3 = 35$ Psi, $P_4 = 40$ Psi.

4.2. Contoh Perhitungan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk mengetahui perilaku arah belok dari mobil Toyota Fortuner. Adapun data teknis kendaraan yang akan digunakan dalam contoh perhitungan ini antara lain:

- Mobil Toyota Fortuner yang masih dalam kondisi standar pabrik (menggunakan *stabilizer* depan).
- Tekanan udara ban sebesar 35 Psi.
- Terdapat dua orang penumpang dengan posisi duduk seperti yang telah ditentukan pada gambar 4.2.
- Mobil melaju dengan kecepatan 35 Km/jam (9,722 m/s) pada jalan aspal kering ($\mu = 0,9$ & $f_r = 0,08$).
- Mobil dibelokkan dengan sudut belok sebesar $\delta_f = 15,62^\circ$.

4.2.1. Perhitungan Letak Titik Berat Kendaraan



Gambar 4. 3. *Seat layout* dengan dua orang penumpang.

Akibat dari adanya penambahan massa penumpang, maka letak dari titik berat kendaraan juga akan berubah. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan letak titik berat kendaraan dengan dua orang penumpang di dalamnya sesuai dengan *seat layout* pada gambar 4.3.

$$\begin{aligned}
 L_f' &= \frac{W_p \cdot a + W \cdot L_f}{W_t} \\
 L_f' &= \frac{1373,4 \cdot 1,37 + 18300,6 \cdot 1,23}{19674} \\
 L_f' &= 1,24 \text{ m} \\
 L_r' &= 2,75 - 1,24 = 1,51 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tinggi titik berat penumpang (hp) dengan satu orang penumpang yaitu sebesar 85 cm dari tanah atau 46,2 cm dari sumbu roda. Dengan adanya penambahan penumpang yakni menjadi dua orang, maka tinggi dari titik berat penumpang tersebut akan menurun. Besarnya penurunan tinggi titik berat penumpang tersebut dipengaruhi oleh sistem suspensi mobil seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{pegas}} &= k \cdot \Delta x \\
 W_{\text{Total}} &= k \cdot \Delta x \\
 2.005,5 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} &= 2(73.750 + 53.500) \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \Delta x \\
 \Delta x &= \frac{19673,955}{254500} = 0,077 \text{ m} = 77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tinggi titik berat penumpang berada pada:
 $h_p' = 462 - 77 \text{ mm} = 385 \text{ mm}$ dari sumbu roda

Dengan demikian, tinggi titik berat kendaraan dengan dua orang penumpang yaitu:

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p}$$

$$h_r' = \frac{18300,6 \cdot 0,00184 + 1373,4 \cdot 0,385}{19673,955} = 0,029 \text{ m}$$

$$h' = h_r' + R_{\text{roda}} = 0,029 + 0,39 = 0,419 \text{ m}$$

$$h' \approx 0,42 \text{ m}$$

4.2.2. Perhitungan Radius Belok Ideal (*Ackerman*) dan Sudut *Side Slip* Kendaraan

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari radius belok ideal dari mobil Toyota Fortuner:

$$R_{\text{ack}} = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ} 57,29$$

$$R_{\text{ack}} = \frac{1,24 + 1,51}{15,62^\circ} 57,29$$

$$R_{\text{ack}} = 10,0863 \text{ m}$$

Besarnya sudut *side slip* yang terjadi ialah:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{L_r}{R_{\text{ack}}} \right)$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{1,51}{10,0863} \right)$$

$$\beta = 0,1497 \text{ Radian} \approx 8,6^\circ$$

4.2.3. Perhitungan Gaya Sentrifugal yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari besarnya gaya sentrifugal yang terjadi ketika mobil berbelok:

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_c = 2005,5 \cdot \frac{9,722^2}{10,0863} = 18.794,2 \text{ N}$$

Gaya sentrifugal ke arah longitudinal yang terjadi yaitu sebesar:

$$F_{cx} = F_c \cdot \sin \beta$$

$$F_{cx} = 18794,2 \cdot \sin 8,6^\circ = 2813,78 \text{ N}$$

- $F_{crx} = \left(\frac{L_f}{L} \right) F_c \cdot \sin \beta = \frac{1,24}{2,75} \cdot 2813,78 = 1.268,69 \text{ N}$
- $F_{cfx} = \left(\frac{L_r}{L} \right) F_c \cdot \sin \beta = \frac{1,51}{2,75} \cdot 2813,78 = 1.545,1 \text{ N}$

Gaya sentrifugal ke arah lateral yang terjadi yaitu sebesar:

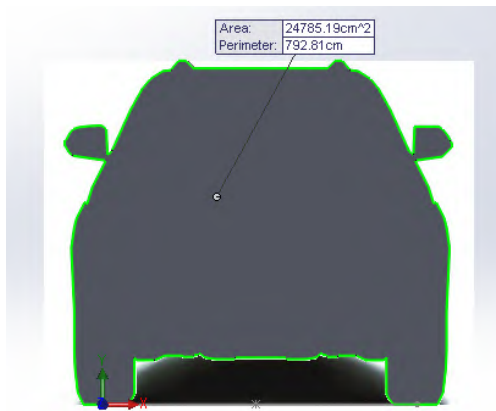
$$F_{cy} = F_c \cdot \cos \beta$$

$$F_{cy} = 18794,2 \cdot \cos 8,6^\circ = 18582,88 \text{ N}$$

- $F_{cry} = \left(\frac{L_f}{L}\right) F_c \cdot \sin \beta = \frac{1,24}{2,75} \cdot 18582,88 = 8.378,46 \text{ N}$
- $F_{cfy} = \left(\frac{L_r}{L}\right) F_c \cdot \sin \beta = \frac{1,51}{2,75} \cdot 18582,88 = 10.203,9 \text{ N}$

4.2.4. Perhitungan Gaya Dorong, Gaya Hambat Aerodinamika, dan Gaya Hambat *Rolling*

Frontal area (A_f) dari mobil Toyota Fortuner ini didapatkan dengan menggunakan software *Solid Work* 2012 dan hasilnya seperti tampak pada gambar 4.4. Berdasarkan hasil yang didapatkan diketahui bahwa A_f mobil Toyota Fortuner ini sebesar $2,48 \text{ m}^2$.



Gambar 4. 4. *Frontal area* mobil Toyota Fortuner.

Perhitungan gaya hambatan *rolling* pada permukaan jalan aspal:

$$R_r = f_r \cdot W$$

$$R_r = 0,08 \cdot 19674$$

$$R_r = 1.573,92 \text{ N}$$

- $R_{rf} = f_r \cdot W_f = 0,08 \cdot 11221,7 = 897,74 \text{ N}$
- $R_{rr} = f_r \cdot W_r = 0,08 \cdot 8452,26 = 676,18 \text{ N}$

Perhitungan gaya dorong pada kendaraan:

$$F_t = R_a + R_r$$

$$F_t = 54,7825 + 1573,92$$

$$F_t = 1.628,71 \text{ N}$$

4.2.5. Perhitungan Kekakuan *Stabilizer Bar* Kendaraan

Perhitungan kekakuan *stabilizer bar* kendaraan diawali dengan melakukan pengujian terhadap *stabilizer bar* yang terpasang pada sistem suspensi kendaraan bagian depan. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan pada ujung *stabilizer bar* kemudian mengukur defleksi yang terjadi pada ujung *stabilizer bar* tersebut. Tahap pengujian kekakuan *stabilizer bar* ini dapat dilihat pada gambar 4.5.

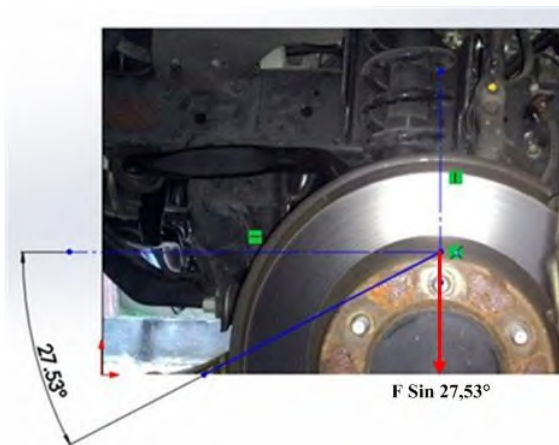


Gambar 4. 5. Mekanisme pembebanan yang dilakukan untuk mengukur *spring rate stabilizer bar* kendaraan.

Setelah dilakukan pembebanan dan telah didapatkan besarnya beban yang diberikan dan defleksi yang terjadi maka dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai dari *spring rate stabilizer bar* tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.

Berdasarkan informasi dari gambar 4.6, maka besarnya *spring rate sstabilizer bar* dapat dicari dengan metode perhitungan seperti berikut:

- F. Beban = 50 Kg = 50 . 9,81 = 490,5 N
- Beban Vertikal = 490,5 . Sin 27,53° = 226,72 N
- Besarnya defleksi yang dihasilkan dari proses pembebanan ialah = 5 mm
- *Spring rate stabilizer bar* = 226,72 N / 5 mm = $45,34 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 45.340 \frac{\text{N}}{\text{m}}$



Gambar 4. 6. Analisa pembebanan yang diberikan pada ujung *stabilizer bar*.

4.2.6. Perhitungan Kekakuan Ban Kendaraan

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari kekakuan ban kendaraan berdasarkan tekanan udara ban yang diberikan:

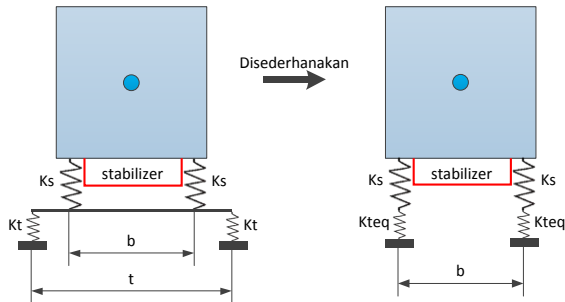
$$K_t = 430 + 27,9167 (P_i)$$

$$K_t = 430 + 27,9167 (35)$$

$$K_t = 1407,08 \approx 246.428 \text{ N/m}$$

4.2.7. Perhitungan Kekakuan Pegas dan Ban Ekvivalen

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari kekakuan pegas dari sistem suspensi beserta kekakuan ban ekvivalen dari mobil Toyota Fortuner seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.7.



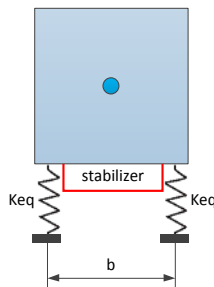
Gambar 4. 7. Model suspensi yang terpasang pada kendaraan.

Besarnya kekakuan ban ekvivalen (K_{teq}) tersebut ialah:

$$K_{teq} = \left(\frac{t}{b}\right)^2 \cdot K_t$$

$$K_{teq} = \left(\frac{1,54}{1,08}\right)^2 \cdot 246428 = 50.1034 \text{ N/m}$$

- $K_{teqf} = 50.1034 \text{ N/m}$
- $K_{teqr} = 50.1034 \text{ N/m}$



Gambar 4. 8. Penyederhanaan pada model sistem suspensi kendaraan.

Setelah mencari kekakuan ban ekuivalen tersebut, kemudian dilakukan penyederhanaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8. Kemudian mencari besarnya kekakuan pegas dan ban ekuivalen dari kendaraan (K_{eq}) yaitu sebagai berikut:

$$K_{eq} = \frac{(K_s + R_s) \cdot K_{teq}}{(K_s + R_s) + K_{teq}}$$

- $K_{eqf} = \frac{(K_{sf} + R_{sf}) \cdot K_{teqf}}{(K_{sf} + R_{sf}) + K_{teqf}}$
 $K_{eqf} = \frac{(73750 + 45340) \cdot 501034}{(73750 + 45340) + 501034} = 96.219,7 \text{ N/m}$
- $K_{eqr} = \frac{(K_{sr} + R_{sr}) \cdot K_{teqr}}{(K_{sr} + R_{sr}) + K_{teqr}}$
 $K_{eqr} = \frac{(53500 + 0) \cdot 501034}{(53500 + 0) + 501034} = 48.338,5 \text{ N/m}$

4.2.8. Perhitungan Sudut dan Momen Guling yang Terjadi pada Kendaraan

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari sudut dan momen guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok:

Jarak sumbu guling ke titik berat kendaraan (r_c) = $0,42 - 0,39 = 0,03 \text{ m}$

Sudut guling yang terjadi pada bagian depan kendaraan:

$$\gamma_f = \frac{\frac{L_r}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c}$$

$$\gamma_f = \frac{\frac{1,51}{2,75} \cdot 18582,88 \cdot 0,03}{96219,7 \cdot \frac{1,08^2}{2} - \frac{1,51}{2,75} \cdot 19674 \cdot 0,03} = 0,00488 \text{ Radian} \approx 0,279^\circ$$

Momen guling yang terjadi pada bagian depan kendaraan:

$$M_{gf} = K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_f$$

$$M_{gf} = 96219,7 \cdot \frac{1,08^2}{2} \cdot 0,00488 = 273,843 \text{ N.m}$$

Sudut guling yang terjadi pada bagian belakang kendaraan:

$$\gamma_r = \frac{\frac{L_f}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c}$$

$$\gamma_r = \frac{\frac{1,24}{1,75} \cdot 18582,88 \cdot 0,03}{48838,5 \cdot \frac{1,08^2}{2} - \frac{1,24}{1,75} \cdot 19674 \cdot 0,03} = 0,008 \text{ Radian} \approx 0,46^\circ$$

Momen guling yang terjadi pada bagian belakang kendaraan:

$$M_{gr} = K_{eqr} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_r$$

$$M_{gr} = 48838,5 \cdot \frac{1,08^2}{2} \cdot 0,008 = 225,528 \text{ N.m}$$

4.2.9. Perhitungan Sudut dan Momen Angguk (*Pitching*) yang Terjadi pada Kendaraan

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari sudut dan momen angguk yang terjadi ketika kendaraan berbelok:

Sudut angguk yang terjadi pada kendaraan:

$$\gamma_p = \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}$$

$$\gamma_p = \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,03}{2 \cdot 96219,7 \cdot 1,24^2 + 2 \cdot 48838,5 \cdot 1,51^2 - 19674 \cdot 0,03}$$

$$\gamma_p = 0,00014 \text{ Radian} \approx 0,0082^\circ$$

Momen angguk yang terjadi pada kendaraan:

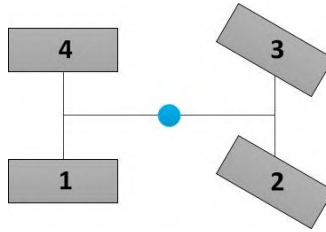
$$M_p = (F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c$$

$$M_p = (2813,78 - 54,7825) \cdot 0,03 + 19674 \cdot 0,00014 \cdot 0,03$$

$$M_p = 73,75 \text{ N.m}$$

4.2.10. Perhitungan Gaya Reaksi yang Terjadi pada Ban Kendaraan

Penomoran roda/ban kendaraan mengikuti penomoran yang ditunjukkan oleh gambar 4.9.



Gambar 4. 9. Penomoran roda/ban kendaraan.

Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari besarnya gaya reaksi yang terjadi pada setiap ban kendaraan ketika berbelok:

Gaya vertikal (F_z):

$$F_{z1} = \frac{L_f}{2L} W - \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} - \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L}$$

$$F_{z1} = \frac{1,24}{2 \cdot 2,75} \cdot 19674 - \frac{8378,46 \cdot 0,39}{1,54} - \frac{225,528}{1,54} - \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2 \cdot 2,75} - \frac{73,75}{2 \cdot 2,75}$$

$$F_{z1} = 1.957,95 \text{ N} \simeq 440,166 \text{ lb}$$

$$F_{z2} = \frac{L_r}{2L} W - \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} - \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L}$$

$$F_{z2} = \frac{1,51}{2 \cdot 2,75} \cdot 19674 - \frac{10203,9 \cdot 0,39}{1,54} - \frac{273,843}{1,54} + \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2 \cdot 2,75} + \frac{73,75}{2 \cdot 2,75}$$

$$F_{z2} = 2.848,75 \simeq 640,428 \text{ lb}$$

$$F_{z3} = \frac{L_r}{2L} W + \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} + \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L}$$

$$F_{z3} = \frac{1,51}{2 \cdot 2,75} \cdot 19674 + \frac{10203,9 \cdot 0,39}{1,54} + \frac{273,843}{1,54} + \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2 \cdot 2,75} + \frac{73,75}{2 \cdot 2,75}$$

$$F_{z3} = 8.372,65 \text{ N} \simeq 1.882,26 \text{ lb}$$

$$F_{z4} = \frac{L_f}{2L} W + \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} + \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L}$$

$$F_{z4} = \frac{1,24}{2 \cdot 2,75} \cdot 19674 + \frac{8378,46 \cdot 0,39}{1,54} + \frac{225,528}{1,54} -$$

$$\frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2 \cdot 2,75} - \frac{73,75}{2 \cdot 2,75}$$

$$F_{z4} = 6.494,61 \text{ N} \simeq 1.460,05 \text{ lb}$$

Dengan demikian, besarnya gaya normal yang terjadi pada roda depan dan belakang adalah sebagai berikut.

Gaya normal pada roda depan kendaraan:

$$W_f = \frac{L_r}{L} W + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{L}$$

$$W_f = \frac{1,51}{2,75} \cdot 19674 + \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,03 + 19674 \cdot 0,00014 \cdot 0,03}{2,75} +$$

$$\frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2,75}$$

$$W_f = 11.221,4 \text{ N}$$

Gaya normal pada roda belakang kendaraan:

$$W_r = \frac{L_f}{L} W - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{L}$$

$$W_r =$$

$$\frac{1,24}{2,75} \cdot 19674 - \frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,03 + 19674 \cdot 0,00014 \cdot 0,03}{2,75} -$$

$$\frac{(2813,78 - 54,7825) \cdot 0,39}{2,75}$$

$$W_r = 8.452,55 \text{ N}$$

Gaya longitudinal (F_x):

$$F_{x1} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_f}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right]$$

$$F_{x1} = \frac{1}{2} \left[\frac{1628,71}{2} + \frac{1,24}{2,75} (2813,78 - 54,7825) - 676,18 \right]$$

$$F_{x1} = 674,342 \text{ N} \simeq 151,59 \text{ lb}$$

$$F_{x2} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rf} \right]$$

$$F_{x2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1628,71}{2} + \frac{1,51}{2,75} (2813,78 - 54,7825) \cos 15,62^\circ - \frac{1,51}{2,75} 18582,88 \cdot \sin 15,62^\circ - 897,74 \right]$$

$$F_{x2} = -669,155 \text{ N} \simeq -150,433 \text{ lb}$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rf} \right]$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} \left[\frac{1628,71}{2} + \frac{1,51}{2,75} (2813,78 - 54,7825) \cos 15,62^\circ - \frac{1,51}{2,75} 18582,88 \cdot \sin 15,62^\circ - 897,74 \right]$$

$$F_{x3} = -669,155 \text{ N} \simeq -150,433 \text{ lb}$$

$$F_{x4} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_f}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right]$$

$$F_{x4} = \frac{1}{2} \left[\frac{1628,71}{2} + \frac{1,24}{2,75} (2813,78 - 54,7825) - 676,18 \right]$$

$$F_{x4} = 674,342 \text{ N} \simeq 151,59 \text{ lb}$$

Gaya lateral (Fy):

$$F_{y1} = \frac{F_{cry}}{2}$$

$$F_{y1} = \frac{8378,46}{2} = 4.189,23 \text{ N} \simeq 941,781 \text{ lb}$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right]$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} \left[\frac{1,51}{2,75} 18582,88 \cdot \cos 15,62^\circ + \frac{1,51}{2,75} (2813,78 - 54,7825) \sin 15,62^\circ \right]$$

$$F_{y2} = 5.117,485 \text{ N} \simeq 1.150,462 \text{ lb}$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right]$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} \left[\frac{1,51}{2,75} 18582,88 \cdot \cos 15,62^\circ + \frac{1,51}{2,75} (2813,78 - 54,7825) \sin 15,62^\circ \right]$$

$$F_{y3} = 5.117,485 \text{ N} \simeq 1.150,462 \text{ lb}$$

$$F_{y4} = \frac{F_{cry}}{2}$$

$$F_{y4} = \frac{8378,46}{2} = 4189,23 \text{ N} \simeq 941,781 \text{ lb}$$

4.2.11. Perhitungan Berdasarkan Analisa *Skid*

Agar kendaraan tidak mengalami *skid* maka besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda depan (F_{cfy}) dan belakang (F_{cry}) harus mampu ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara ban dan permukaan jalan. Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui besarnya gaya gesek yang terjadi pada roda depan maupun roda belakang kendaraan.

Gaya gesek pada roda depan kendaraan:

$$F_{gf} = \mu \left(\frac{L_r}{L} W + \left(\frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} \right) + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{L} \right)$$

$$F_{gf} = W_f \cdot \mu$$

$$F_{gf} = W_f \cdot \mu = 11221,4 \cdot 0,9 = 10.099,3 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan, maka dapat diketahui bahwa besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda depan melebihi gaya geseknya maka roda depan kendaraan telah mengalami *skid*

$$F_{cfy} = 10.203,9 \text{ N}$$

$$F_{gf} = 10.099,3 \text{ N}$$

$$F_{cfy} \geq F_{gf}$$

Gaya gesek pada roda belakang kendaraan:

$$F_{gr} = \mu \left(\frac{L_f}{L} W - \left(\frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c}{L} \right) - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{L} \right)$$

$$F_{gr} = W_r \cdot \mu$$

$$F_{gr} = 8452,55 \cdot 0,9 = 7.607,033 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan, maka dapat diketahui bahwa besarnya gaya lateral yang terjadi pada roda

belakang melebihi gaya geseknya sehingga roda depan kendaraan telah mengalami *skid*

$$F_{\text{cry}} = 8.378,46 \text{ N}$$

$$F_{\text{gr}} = 7.607,3 \text{ N}$$

$$F_{\text{cry}} \geq F_{\text{gr}}$$

Melalui hasil perhitungan berdasarkan analisa *skid* di atas dapat diketahui bahwa dengan kondisi yang diberikan ternyata mobil telah mengalami *skid* pada roda depan dan belakang. Sehingga kondisi ini tidak aman bagi pengemudi dan penumpang di dalamnya. Oleh karena itu pengemudi dianjurkan untuk mengetahui batas kecepatan *skid* roda depan dan belakang kendaraan, apabila ingin membelokkan mobil Toyota Fortuner ini dengan sudut belok sesuai dengan yang dicontohkan yaitu $15,62^\circ$. Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui batas kecepatan *skid* roda depan dan belakang kendaraan.

Kecepatan *skid* depan:

$$V_{\text{sf}} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_r \cdot W}{\left(\frac{L_r \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) - \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)\right)}}$$

$$V_{\text{sf}} = \sqrt{\frac{0,9 \cdot 1,51 \cdot 19674}{\left(\frac{1,54 \cdot 19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09}\right) - 0,9 \left(\frac{19674 \cdot \sin 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09} - \frac{1,23 \cdot 0,38 \cdot 2,48}{2}\right) \left(0,03 + 0,39 + \left(\frac{19674 \cdot 0,03^2}{2 \cdot 96219,7 \cdot 1,24^2 + 2 \cdot 48338,5 \cdot 1,51^2 - 19674 \cdot 0,03}\right)\right)}}$$

$$V_{\text{sf}} = 9,67 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 34,81 \text{ km/jam}$$

Kecepatan *skid* belakang:

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_f \cdot W}{\left(\frac{L_f \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) + \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c}\right)\right)}}$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{0,9 \cdot 1,21 \cdot 19674}{\left(\frac{1,24 \cdot 19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09}\right) + 0,9 \left(\frac{19674 \cdot \sin 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09} - \frac{1,23 \cdot 0,38 \cdot 2,48}{2}\right) \left(0,03 + 0,39 + \left(\frac{19674 \cdot 0,03^2}{2 \cdot 96219,7 \cdot 1,24^2 + 2 \cdot 48338,5 \cdot 1,51^2 - 19674 \cdot 0,03}\right)\right)}}$$

$$V_{sr} = 9,28 \frac{m}{s} \simeq 33,42 \text{ km/jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan batas kecepatan *skid* roda depan dan belakang kendaraan, dapat diketahui kecepatan *skid* roda belakang lebih kecil daripada kecepatan *skid* roda depan. Hal ini mendandakan bahwa mobil Toyota Fortuner ini akan mengalami *skid* pada roda belakang terlebih dahulu sehingga akan cenderung mengalami *oversteer*.

4.2.12. Perhitungan Berdasarkan Analisa Guling

Agar kendaraan tidak terguling maka besarnya gaya normal yang terjadi pada setiap ban tidak boleh bernilai nol atau negatif. Berdasarkan hasil perhitungan gaya normal (vertikal) yang sudah dilakukan dapat diketahui nilai dari gaya normal yang terjadi pada setiap ban kendaraan bernilai positif yaitu, $F_{z1} = 1.957,95 \text{ N}$; $F_{z2} = 2.848,75 \text{ N}$; $F_{z3} = 8.372,65 \text{ N}$; $F_{z4} = 6.494,61 \text{ N}$. Hal ini menunjukkan bahwa sesuai dengan kondisi yang dicontohkan, mobil Toyota Fotuner tidak akan terguling.

Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui batas kecepatan maksimum guling roda depan dan belakang kendaraan.

Kecepatan guling depan:

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{L_r \cdot W \cdot t_f}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_r \cdot h_{gf} + L_r \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_r^2}{L}}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c} \right) - t_f \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(h_{gf} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right)}}$$

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{1,51 \cdot 19674 \cdot 1,54}{\left(\frac{2 \cdot 19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09}\right) \left(1,51 \cdot 0,39 + 1,51 \cdot 0,03 + \frac{19674 \cdot 0,03^2 \cdot \frac{1,51^2}{2,75}}{96219,7 \cdot \frac{1,08^2}{2} - \frac{1,51}{2,75} \cdot 19674 \cdot 0,03} \right) - 1,54 \left(\frac{19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09} - \frac{1,23 \cdot 0,38 \cdot 2,48}{2} \right) \left(0,39 + 0,03 + \frac{19674 \cdot 0,03^2}{2 \cdot 96219,7 \cdot 1,24^2 + 2 \cdot 48338,5 \cdot 1,51^2 - 19674 \cdot 0,03} \right)}}$$

$$V_{gf} = 14,142 \frac{m}{s} = 50,91 \text{ km/jam}$$

Kecepatan guling belakang:

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{L_f \cdot W \cdot t_r}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_f \cdot h_{gr} + L_f \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_f^2}{L}}{K_{eqr} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c} \right) + t_r \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(h_{gr} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right)}}$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{1,21 \cdot 19674 \cdot 1,54}{\left(\frac{2 \cdot 19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09}\right) \left(1,21 \cdot 0,39 + 1,21 \cdot 0,03 + \frac{19674 \cdot 0,03^2 \cdot \frac{1,21^2}{2,75}}{96219,7 \cdot \frac{1,08^2}{2} - \frac{1,21}{2,75} \cdot 19674 \cdot 0,03} \right) + 1,21 \left(\frac{19674 \cdot \cos 8,6^\circ}{9,81 \cdot 10,09} - \frac{1,23 \cdot 0,38 \cdot 2,48}{2} \right) \left(0,39 + 0,03 + \frac{19674 \cdot 0,03^2}{2 \cdot 96219,7 \cdot 1,24^2 + 2 \cdot 48338,5 \cdot 1,51^2 - 19674 \cdot 0,03} \right)}}$$

$$V_{gr} = 13,008 \frac{m}{s} = 46,83 \text{ km/jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan batas kecepatan guling roda depan dan belakang kendaraan, dapat diketahui kecepatan guling roda belakang lebih kecil daripada kecepatan guling roda depan. Hal ini mendandakan bahwa mobil Toyota Fortuner pada kondisi ini cenderung mengalami *oversteer*.

4.2.13. Perhitungan Sudut Slip

Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui besarnya sudut *slip* pada masing-masing ban.

Sudut *slip* pada ban 1:

$$\begin{aligned} C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \\ C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (35) - 0,0916 (35)^2 = 76,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \\ C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rx} &= \left[\frac{F_{y\alpha_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \\ C_{rx} &= \left[\frac{941,781 + 0,107927 (151,59)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 42,654 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{ro} &= \left[\frac{F_{y\alpha_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \\ C_{ro} &= \left[\frac{941,781}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 41,135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha_i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})] \\ \alpha_1 &= \frac{76,64}{78,6} \cdot \frac{42,654}{41,135} [0,087935 (941,781)^{0,79008} - \\ &0,005277 (440,166)] = 17,54^\circ \end{aligned}$$

Sudut *slip* pada ban 2:

$$\begin{aligned} C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \\ C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (35) - 0,0916 (35)^2 = 76,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \\ C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rx} &= \left[\frac{F_{y\alpha i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \\ C_{rx} &= \left[\frac{1150,462 + 0,107927 (-150,433)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 60,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{ro} &= \left[\frac{F_{y\alpha i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \\ C_{ro} &= \left[\frac{91150,462}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 62,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})] \\ \alpha_2 &= \frac{76,64}{78,6} \cdot \frac{60,84}{62,69} [0,087935 (91150,462)^{0,79008} - \\ &0,005277 (640,428)] = 18,6^\circ \end{aligned}$$

Sudut *slip* pada ban 3:

$$\begin{aligned} C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \\ C_{rp} &= 3,35 + 5,30 (35) - 0,0916 (35)^2 = 76,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \\ C_{rs} &= 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{rx} &= \left[\frac{F_{y\alpha i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \\ C_{rx} &= \left[\frac{1150,462 + 0,107927 (-150,433)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 60,84 \end{aligned}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\alpha i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{91150,462}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 62,69$$

$$\alpha_3 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})]$$

$$\alpha_3 = \frac{76,64}{78,6} \cdot \frac{60,84}{62,69} [0,087935 (91150,462)^{0,79008} - 0,005277 (1882,26)] = 12,4^\circ$$

Sudut *slip* pada ban 4:

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (35) - 0,0916 (35)^2 = 76,64$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (25) - 0,0916 (25)^2 = 78,6$$

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\alpha i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{941,781 + 0,107927 (151,59)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 42,654$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\alpha i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{941,781}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} = 41,135$$

$$\alpha_4 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha i})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})]$$

$$\alpha_4 = \frac{76,64}{78,6} \cdot \frac{42,654}{41,135} [0,087935 (941,781)^{0,79008} - 0,005277 (1460,05)] = 12,4^\circ$$

Sudut *slip* pada ban depan:

$$\alpha_f = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} = \frac{18,6 + 12,4}{2} = 15,505^\circ$$

Sudut *slip* pada ban belakang:

$$\alpha_r = \frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2} = \frac{17,54 + 12,4}{2} = 14,82^\circ$$

Berdasarkan besarnya nilai sudut *slip* ban belakang tersebut dapat diketahui bahwa sudut *slip* yang terjadi pada ban depan lebih besar daripada sudut *slip* yang terjadi pada ban belakang. Hal itu menunjukkan bahwa perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner ini ialah *understeer* atau susah belok.

4.2.14. Perhitungan Radius Belok Nyata dan Koefisien *Understeer* (K_{US}) Kendaraan

Berikut ini adalah perhitungan untuk mengetahui besarnya radius belok nyata yang mampu ditempuh dengan kondisi yang telah dicontohkan beserta dengan nilai K_{US} -nya.

Radius belok nyata kendaraan:

$$R_n = \frac{L_f + L_r}{\delta_f^\circ + \alpha_r^\circ - \alpha_f^\circ} 57,29$$

$$R_n = \frac{1,24 + 1,51}{15,62^\circ + 14,82^\circ - 15,505^\circ} 57,29 = 10,55 \text{ m}$$

Koefisien *Understeer* (K_{US}) kendaraan:

$$K_{US} = \frac{g \cdot R_n}{V^2} (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ)$$

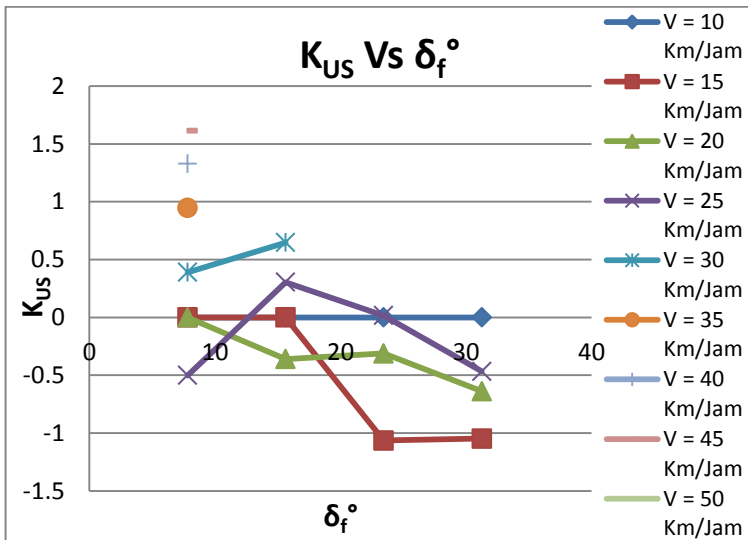
$$K_{US} = \frac{9,81 \cdot 10,55}{9,722^2} (15,505 - 14,82^\circ) = 0,75$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa koefisien *understeer* (K_{US}) dari mobil Toyota Fortuner dengan kondisi yang dicontohkan bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner mempunyai perilaku arah yang *understeer* atau susah belok.

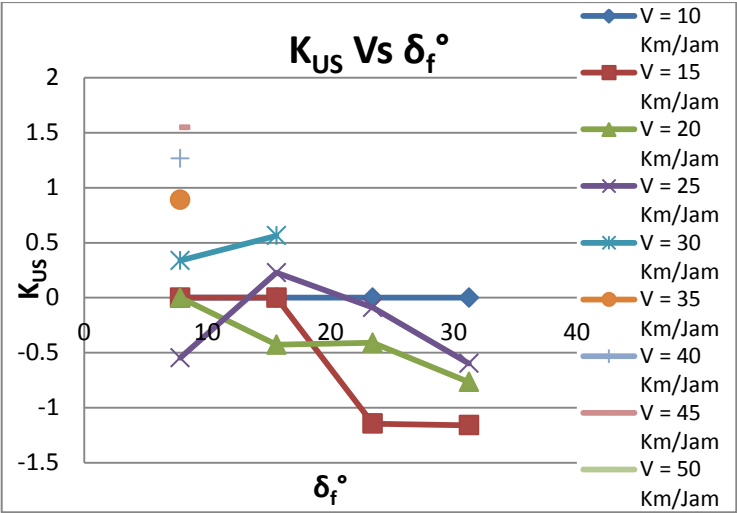
4.3. Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan

4.3.1. Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Aspal

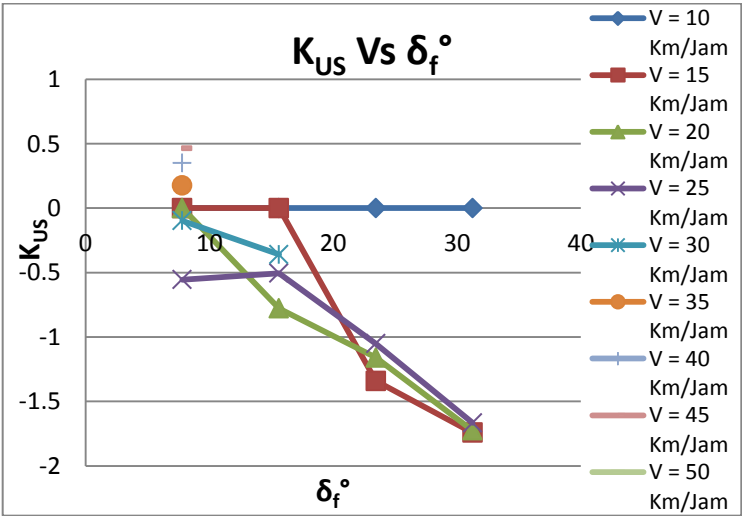
Berikut ini adalah grafik nilai Koefisien *Understeer* (K_{US}) dari mobil Toyota Fotuner dengan beberapa variasi jumlah penumpang pada jalan aspal yang didapatkan dari hasil perhitungan yang menunjukkan nilai koefisien *understeer* kendaraan terhadap besarnya sudut belok yang diberikan. *Trendline* dari grafik nilai koefisien *understeer* ini berbeda-beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan yang diberikan seperti yang tampak pada gambar 4.10, 4.11, 4.12, dan 4.13.



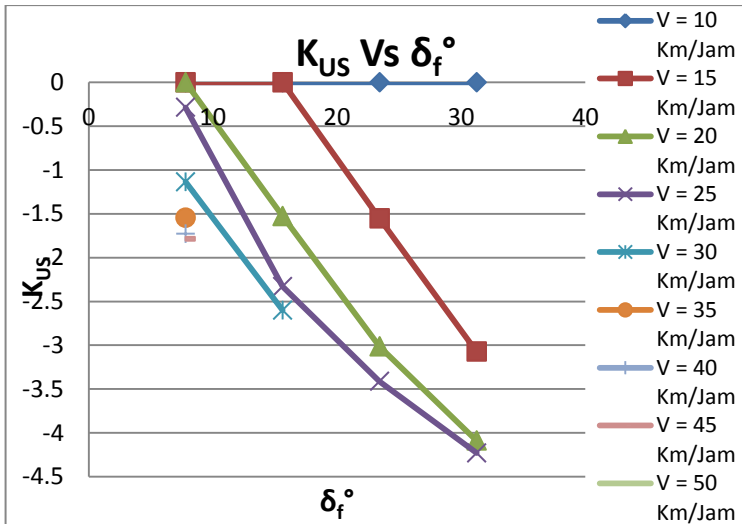
Gambar 4. 10. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 1 orang penumpang pada jalan aspal.



Gambar 4. 11. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.



Gambar 4. 12. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 4 orang penumpang pada jalan aspal.



Gambar 4. 13. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 7 orang penumpang pada jalan aspal.

Gambar tersebut menunjukkan nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal dengan variasi jumlah penumpang sebanyak 1, 2, 4, dan 7 orang. Berdasarkan informasi pada grafik tersebut, dapat diketahui bahwa dengan 1 atau 2 orang penumpang mobil Toyota Fortuner akan mengalami kondisi netral, *understeer*, dan *oversteer* ketika berbelok. Namun, mobil tersebut hanya akan mengalami kondisi netral dan *oversteer* saja ketika berbelok dengan 4 atau 7 orang penumpang.

Pada realitanya kondisi *understeer* merupakan kondisi dimana kendaraan menjadi sulit untuk dibelokkan. Sehingga apabila pengemudi ingin membelokkan kendaraan pada radius belok tertentu maka ia harus menambahkan sudut *steer* pada kendaraan tersebut. Kondisi *oversteer* merupakan kondisi belok kendaraan yang paling berbahaya dimana bagian belakang kendaraan terbuang keluar sehingga menjadikan kendaraan tersebut sangat sulit untuk dikendalikan. Tentunya kondisi

oversteer ini sangat membahayakan bagi pengemudi dan para penumpang yang ada di dalam kendaraan.

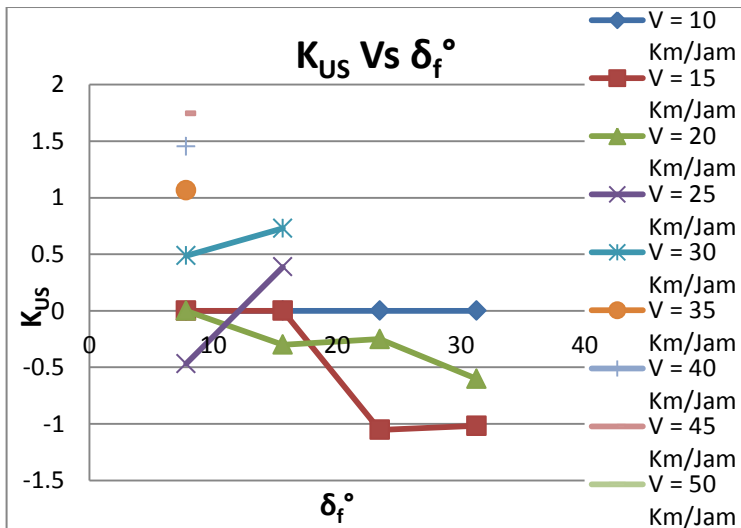
Berdasarkan hasil pada grafik yang sudah disebutkan di atas, dapat diketahui bahwa kondisi belok dari mobil Toyota Fortuner yang paling baik ialah dengan 2 orang penumpang karena lebih sedikit mengalami kondisi *oversteer* dan memiliki nilai koefisien *understeer* yang bernilai positif paling kecil. Berkenaan dengan hal ini maka para pengemudi dianjurkan untuk berhati-hati ketika mengendarai mobil Toyota Fortuner ini dengan 4 orang penumpang atau lebih.

4.3.2. Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Tanah

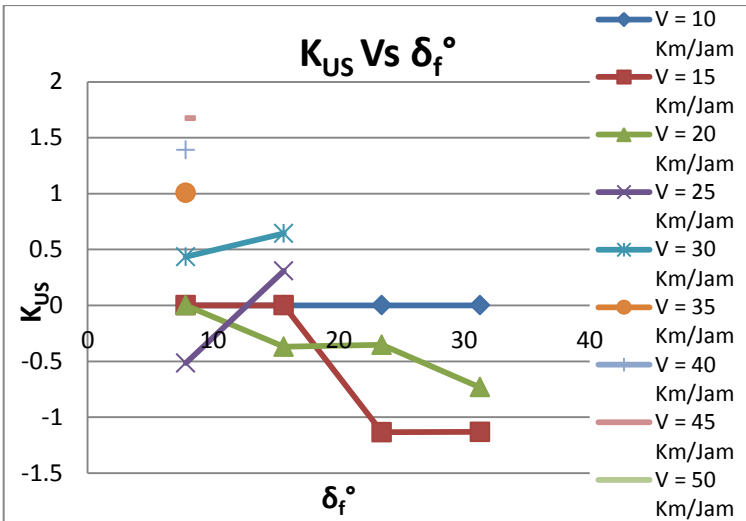
Berikut ini adalah grafik nilai Koefisien *Understeer* (K_{US}) dari mobil Toyota Fotuner dengan variasi jumlah penumpang pada jalan tanah yang didapatkan dari hasil perhitungan yang menunjukkan nilai K_{US} kendaraan terhadap besarnya sudut belok kendaraan yang diberikan. *Trendline* dari grafik nilai koefisien *understeer* ini berbeda-beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan yang diberikan seperti yang tampak pada gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17.

Gambar tersebut merupakan grafik nilai K_{US} Vs δf° mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah dengan berbagai variasi jumlah penumpang yaitu 1, 2, 4, dan 7 orang. Berdasarkan nilai koefisien *understeer* yang ditunjukkan oleh grafik-grafik di atas, dapat diketahui bahwa dengan 1 atau 2 orang penumpang mobil Toyota Fortuner akan mengalami kondisi netral, *understeer*, dan *oversteer* ketika berbelok. Namun, mobil tersebut hanya akan mengalami kondisi netral dan *oversteer* saja ketika berbelok dengan 4 atau 7 orang penumpang. Hal ini hampir sama dengan kondisi mobil pada jalan aspal. Namun, perlu diketahui disini bahwa pada permukaan jalan tanah, mobil Toyota Fortuner ini akan lebih mudah mengalami *skid*. Dapat dilihat pada gambar 4.15 bahwa dengan kecepatan sebesar 25 Km/Jam, kendaran

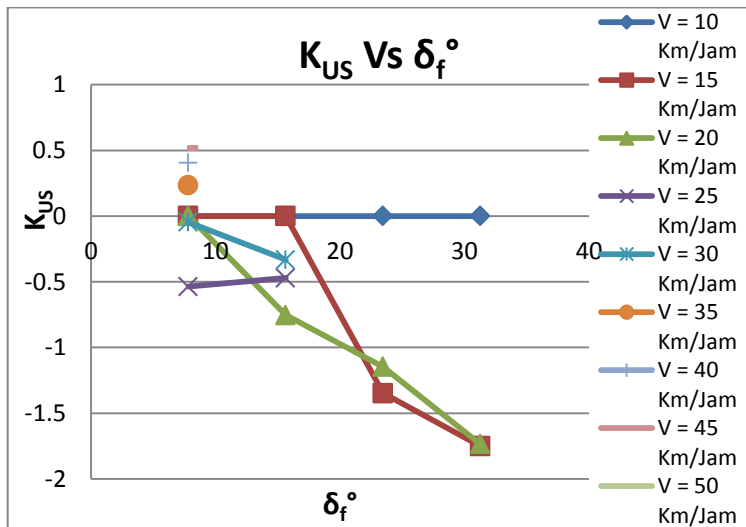
memiliki nilai koefisien *understeer* hanya sampai sudut belok sebesar $15,62^\circ$. Berbeda dengan nilai koefisien *understeer* kendaraan dengan kecepatan yang sama pada jalan aspal seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.10. Hal ini dikarenakan oleh hasil perhitungan dengan analisa *skid* yang menunjukkan bahwa pada kecepatan 25 km/jam dan sudut belok $23,44^\circ$ ke atas kendaraan telah mengalami *skid*. Kondisi ini terjadi karena gaya gesek yang terjadi pada ban kendaraan tidak mampu menahan gaya lateral yang terjadi ketika kendaraan tersebut berbelok. Sehingga perhitungan nilai koefisien *understeer* dihentikan hanya sampai sudut belok $15,62^\circ$ saja.



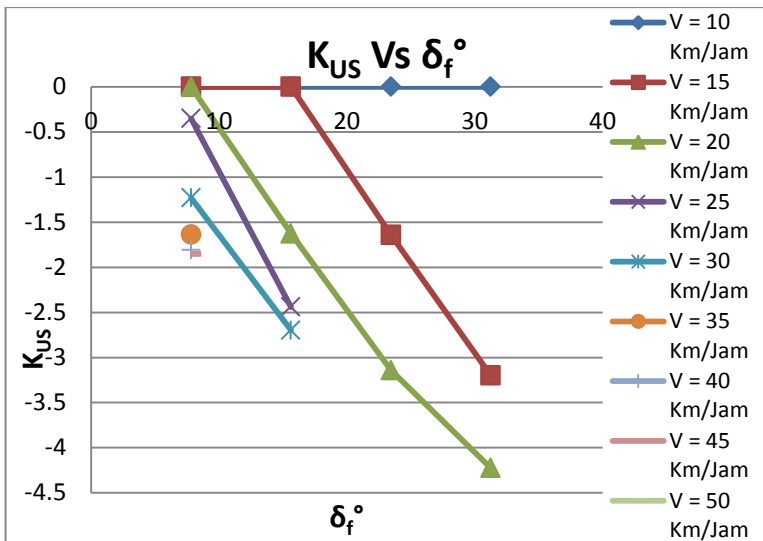
Gambar 4. 14. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 1 orang penumpang pada jalan tanah.



Gambar 4. 15. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan tanah.



Gambar 4. 16. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 4 orang penumpang pada jalan tanah.



Gambar 4. 17. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 7 orang penumpang pada jalan tanah.

Berdasarkan grafik nilai K_{US} Vs δ_f kendaraan pada jalan tanah di atas, apabila dibandingkan grafik nilai K_{US} Vs δ_f kendaraan pada jalan aspal, maka dapat disimpulkan bahwa mobil Toyota Fortuner ini mengalami kondisi belok yang lebih baik bila dijalankan pada jalan aspal.

4.4. Analisa *Slip* Perilaku Arah Belok Kendaraan

4.4.1. Analisa Besarnya Sudut *Slip* yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Jumlah Penumpang pada Permukaan Jalan Aspal

Berdasarkan hasil perhitungan untuk mengetahui besarnya sudut *slip* pada masing-masing ban ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) didapatkan rata-rata sudut *slip* pada ban depan (α_f) dan ban belakang (α_r) pada setiap variasi jumlah penumpang seperti yang ditampilkan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Sudut *slip* rata-rata ban depan (α_f) dan ban belakang (α_r) kendaraan dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

$\delta f [^\circ]$	1 Penumpang		2 Penumpang	
	$\alpha f [^\circ]$	$\alpha r [^\circ]$	$\alpha f [^\circ]$	$\alpha r [^\circ]$
7,81	6,5022	6,0749	6.6276	6.2243
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID
$\delta f [^\circ]$	4 Penumpang		7 Penumpang	
	$\alpha f [^\circ]$	$\alpha r [^\circ]$	$\alpha f [^\circ]$	$\alpha r [^\circ]$
7,81	6,7385	6,6553	6,6673	7,4820
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID

Dapat dilihat pada tabel 4.3 tersebut bahwa semakin banyak jumlah penumpang yang berada pada kendaraan menyebabkan sudut *slip* yang terjadi pada ban semakin besar. Hal itu disebabkan oleh gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan juga semakin meningkat seiring dengan pertambahan massa total dari kendaraan, sesuai dengan persamaan 3.32. Semakin besar gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan yang berbelok menyebabkan besarnya gaya lateral (F_y) yang terjadi juga semakin meningkat. Gaya lateral inilah yang menyebabkan sudut *slip* yang terjadi pada ban juga semakin besar. Hal itu sesuai dengan persamaan 2.58.

Perlu diketahui bahwa nilai sudut *slip* yang terjadi pada ban belakang mobil Toyota Fortuner ini menjadi semakin besar seiring dengan penambahan jumlah penumpang. Namun, hal itu tidak berlaku untuk besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban depan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3 di atas yang berwarna kuning. Besarnya sudut *slip* pada ban depan semakin besar untuk jumlah penumpang sebanyak 1, 2, dan 4 orang. Namun, sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dengan 7 orang

penumpang besarnya semakin menurun apabila dibandingkan dengan 4 orang penumpang. Hal ini dapat terjadi karena adanya pergeseran letak titik berat kendaraan seiring dengan penambahan penumpang dengan posisi duduk seperti yang telah ditentukan. Pada kasus 7 orang penumpang ini, letak titik berat kendaraan semakin ke belakang yaitu $L_f = 1,455$ m dan $L_r = 1,295$ m. hal ini menyebabkan gaya lateral yang terjadi pada ban belakang (F_{cry}) akan semakin meningkat, namun gaya lateral pada ban depan akan semakin menurun sesuai dengan persamaan 2.30 dan 2.31. Berdasarkan persamaan tersebut, dapat diketahui bahwa semakin ke belakang letak titik berat kendaraan maka gaya lateral yang terjadi pada ban belakang akan semakin meningkat sehingga sudut *slip* pada ban belakang menjadi bertambah besar sedangkan gaya lateral pada ban depan akan semakin menurun.

4.4.2. Analisa Besarnya Sudut *Slip* yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Permukaan Jalan

Berdasarkan hasil perhitungan sudut *slip* pada ban depan dan ban belakang kendaraan dengan variasi kondisi permukaan jalan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4. Sudut *slip* rata-rata ban depan (α_f°) serta ban belakang (α_r°) kendaraan dengan 2 penumpang, pada kecepatan 35 km/jam, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

$\delta f [^\circ]$	$\alpha f [^\circ]$		$\alpha r [^\circ]$	
	Jalan Aspal	Jalan Tanah	Jalan Aspal	Jalan Tanah
7,81	6,6276	6,9087	6,2243	6,4559
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID

Pada tabel 4.4 tersebut dapat diketahui bahwa dengan sudut belok yang sama namun sudut *slip* yang terjadi pada ban depan

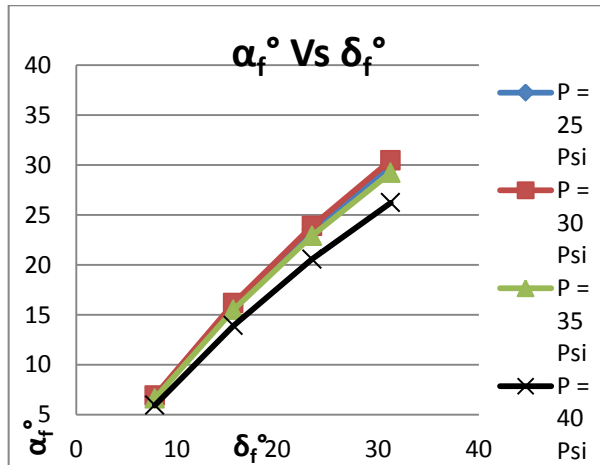
dan ban belakang mobil Toyota Fortuner nilainya berbeda. Sudut *slip* yang terjadi pada permukaan jalan aspal cenderung lebih kecil daripada sudut *slip* yang terjadi pada permukaan jalan tanah.

Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan nilai dari koefisien hambatan *rolling* antara permukaan jalan aspal dan tanah yaitu, $f_{ra} = 0,08$; $f_{rt} = 0,3$. Nilai koefisien hambatan *rolling* dari permukaan jalan tanah ini lah yang menyebabkan gaya hambat *rolling* pada ban dan permukaan jalan semakin besar sehingga gaya dorong (F_t) yang harus diberikan oleh *engine* kendaraan harus semakin besar pula. Hal itu sesuai dengan persamaan 2.36. Karena gaya dorong *engine* yang diterima oleh ban semakin meningkat maka gaya longitudinal (F_x) yang terjadi pada ban juga semakin besar. Gaya longitudinal inilah yang mempengaruhi besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban kendaraan. Hal itu sesuai dengan persamaan sebagai 2.61 yang mana nilai dari gaya longitudinal tersebut berpengaruh pada salah satu nilai konstanta dalam menentukan besarnya sudut *slip*, yaitu C_{rx} . Melalui kedua persamaan tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar gaya longitudinal pada ban yang disebabkan oleh besarnya koefisien hambat *rolling* permukaan jalan, maka sudut *slip* yang terjadi pada ban akan semakin besar.

4.4.3. Analisa Besarnya Sudut *Slip* yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Tekanan Ban

Berdasarkan hasil perhitungan sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dan belakang kendaraan dengan kecepatan 35 Km/Jam serta 2 orang penumpang didapatkan grafik α° Vs δ_f° untuk setiap variasi tekanan ban yang diberikan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18 dan 4.19. Gambar tersebut menunjukkan grafik nilai α° Vs δ_f° pada tekanan ban yang berbeda-beda. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa besarnya sudut *slip* semakin besar seiring pertambahan tekanan ban dari 25 Psi sampai 30 Psi. Namun, pada tekanan 35 Psi dan 40 Psi terjadi penurunan dari besarnya sudut *slip* yang terjadi. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.59, salah satu konstanta dalam perumusan sudut *slip* yang

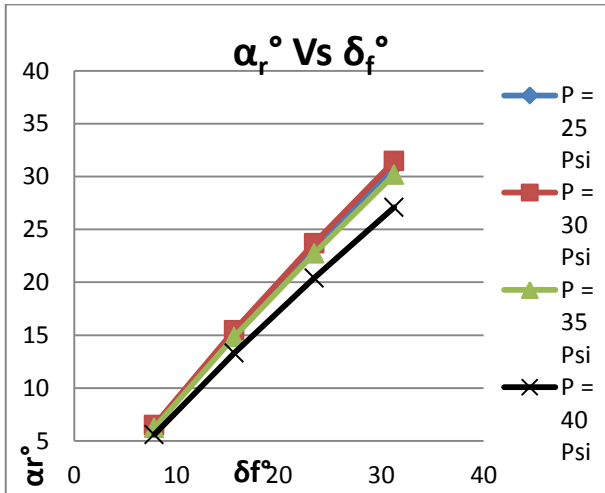
menunjukkan pengaruh dari tekanan ban (C_{tp}) yang merupakan fungsi kuadratik.



Gambar 4. 18. Grafik nilai α_f° Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal.

Nampak pada kedua grafik tersebut bahwa sudut *slip* terbesar yang terjadi yakni pada tekanan 30 Psi dan sudut *slip* terkecil yakni pada tekanan 40 Psi. Apabila dipilih tekanan ban yang terbaik agar sudut *slip* yang terjadi pada ban sekecil mungkin maka tekanan ban yang paling baik ialah 40 Psi. Namun, apabila ditinjau dari perhitungan untuk mengetahui kecepatan *skid* kendaraan didapatkan informasi bahwa kecepatan *skid* kendaraan cenderung menurun dengan seiring penambahan tekanan pada ban kendaraan. Agar sudut *slip* yang dihasilkan kecil dan kecepatan *skid* kendaraan tidak mengalami penurunan yang drastis, oleh karena itu tekanan ban yang optimum dalam memberikan perilaku arah belok yang lebih baik bagi mobil Toyota Fortuner ini ialah sebesar 35 Psi. Hal ini sesuai dengan tekanan ban standar yang dianjurkan dalam pengoperasian ban

dengan tipe 265/65 R17 yang digunakan oleh mobil Toyota Fortuner ini yaitu sebesar 30-35 Psi.



Gambar 4. 19. Grafik nilai α_r° Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang dengan kecepatan 35 km/jam pada jalan aspal.

4.4.4. Analisa Besarnya Sudut *Slip* yang Terjadi pada Ban Kendaraan dengan Variasi Kecepatan dan Sudut Belok pada Permukaan Jalan Aspal

Berdasarkan hasil perhitungan untuk mengetahui besarnya sudut *slip* pada masing-masing ban (α_1 , α_2 , α_3 , α_4) didapatkan rata-rata sudut *slip* pada ban depan (α_f) dan belakang (α_r) pada setiap variasi kecepatan dan sudut belok seperti yang ditampilkan pada tabel 4.5.

Pada tabel 4.5 dapat diketahui bahwa besarnya sudut *slip* yang terjadi selalu bertambah besar seiring dengan bertambahnya kecepatan kendaraan saat berbelok. Hal ini dikarenakan oleh semakin besarnya gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan seiring dengan bertambahnya kecepatan sesuai dengan persamaan 2.32.

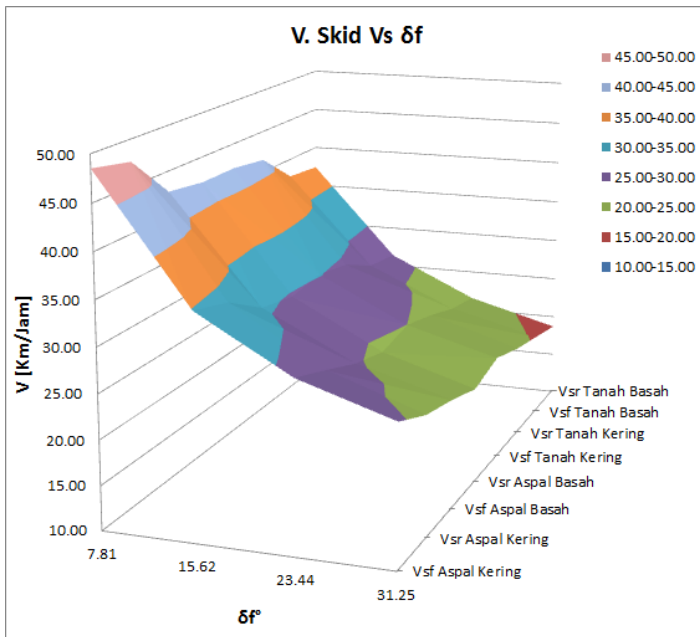
Tabel 4. 5. Sudut *slip* rata-rata ban depan (α_f°) serta ban belakang (α_r°) kendaraan dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

δ_f°	10 km/jam		15 km/jam		20 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	0	0	0	0	0	0
15,62	0	0	0	0	2,8542	2,9887
23,44	0	0	1,6261	1,9315	5,9840	6,1775
31,25	0	0	3,3690	3,7810	8,6735	9,1590
δ_f°	25 km/jam		30 km/jam		35 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	1,36247	1,4977	3,8655	3,7485	6,6276	6,2243
15,62	6,61740	6,5076	10,8468	10,4609	SKID	SKID
23,44	11,0269	11,0929	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	14,8019	15,3958	SKID	SKID	SKID	SKID
δ_f°	40 km/jam		45 km/jam		50 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	9,6305	8,9131	SKID	SKID	SKID	SKID
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID

Sudut *slip* yang terjadi juga semakin besar seiring dengan sudut belok yang diberikan ketika kendaraan berbelok. Sudut belok kendaraan yang semakin besar ini menyebabkan radius belok kendaraan menjadi semakin kecil. Apabila Radius belok yang dihasilkan semakin kecil, maka gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan akan semakin besar sehingga besarnya gaya longitudinal (F_x), lateral (F_y), dan vertikal (F_z) yang terjadi pada kendaraan pun juga akan bertambah besar. Hal ini dapat mengakibatkan sudut *slip* yang terjadi pada ban akan semakin besar. Pada tabel 4.5 terdapat tabel berwarna hijau yang menunjukkan bahwa pada sudut belok dan kecepatan tersebut ban kendaraan telah mengalami *skid* sehingga sudut *slip* yang terjadi tidak dapat diketahui secara pasti.

4.5. Analisa *Skid* Perilaku Arah Belok Kendaraan

Kendaraan akan mengalami kondisi *skid* apabila besarnya gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan ketika berbelok melebihi besarnya gaya gesek antara ban dan permukaan jalan yang dilalui oleh kendaraan tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan telah didapatkan besarnya batas kecepatan maksimum kendaraan agar tidak mengalami *skid* pada roda depan maupun belakang. Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan V_{Skid} Vs δ_f° untuk setiap kondisi permukaan jalan yang dilalui oleh kendaraan.



Gambar 4. 20. Grafik batas kecepatan *skid* Vs (δ_f°) mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada berbagai variasi permukaan jalan.

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.20 di atas dapat diketahui bahwa mobil

Toyota Fortuner ini akan cenderung mengalami *oversteer* karena $V_{sf} > V_{sr}$. Pada grafik di atas juga dapat dilihat bahwa *trendline* batas kecepatan *skid* kendaraan mengalami penurunan untuk setiap penambahan sudut belok kendaraan. Hal ini menandakan bahwa semakin besar sudut belok yang diberikan maka batas kecepatan maksimum *skid* depan dan belakang akan semakin menurun. Pada saat kendaraan melaju di atas permukaan jalan aspal kering, kendaraan memiliki batas kecepatan maksimum *skid* yang lebih tinggi daripada melaju pada permukaan jalan yang lain. Batas kecepatan maksimum *skid* kendaraan paling kecil dijumpai ketika kendaraan melaju pada permukaan jalan tanah basah. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa semakin besar koefisien adhesi (μ) antara permukaan jalan dengan ban maka batas maksimum kecepatan kendaraan untuk mengalami *skid* juga akan semakin besar.

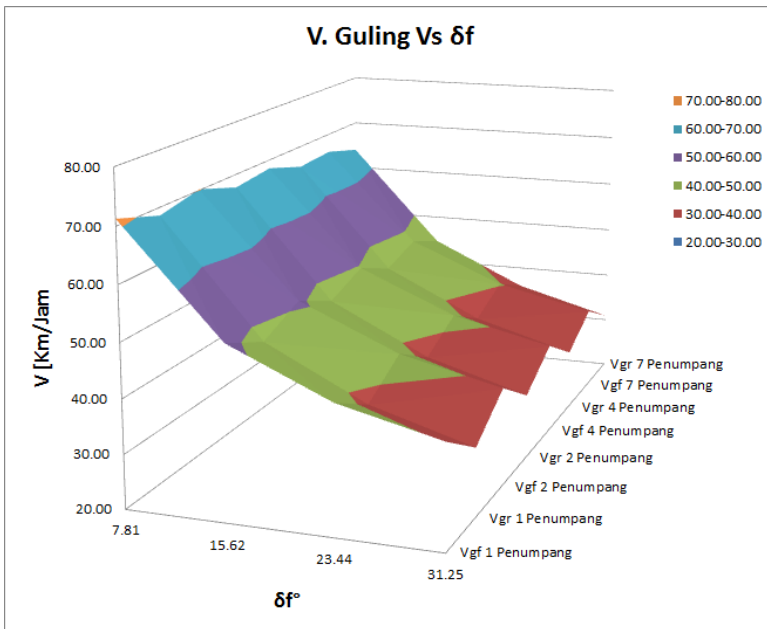
4.6. Analisa Guling Perilaku Arah Belok Kendaraan

4.6.1. Analisa Batas Kecepatan Guling Kendaraan

Kendaraan dalam kondisi kritis akan terguling karena terangkatnya salah satu atau kedua roda terluar ketika berbelok. Hal ini disebabkan oleh besarnya gaya normal yang terjadi pada ban kendaraan tidak dapat menahan berat kendaraan, dengan kata lain gaya normal yang terjadi bernilai nol atau negatif. Supaya terhindar dari kondisi kritis yang seperti ini perlu diketahui bagi pengemudi kendaraan mengenai batas kecepatan maksimum agar kendaraan tidak terguling. Berdasarkan hasil perhitungan mengenai batas kecepatan maksimum guling kendaraan didapatkan grafik V_{gf} Vs δ_f° dan V_{gr} Vs δ_r° untuk berbagai variasi jumlah penumpang seperti yang ditampilkan pada gambar 4.21.

Berdasarkan hasil perhitungan batas kecepatan guling yang ditampilkan pada gambar 4.21 dapat dilihat bahwa nilai V_{gf} selalu lebih besar daripada nilai V_{gr} sehingga salah satu roda belakang kendaraan akan terangkat terlebih dahulu sebelum salah satu roda depan mulai terangkat. Hal ini menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner cenderung mengalami kondisi *oversteer*. Pada grafik di

atas dapat dilihat bahwa *trendline* batas kecepatan guling kendaraan mengalami penurunan untuk setiap penambahan sudut belok kendaraan.



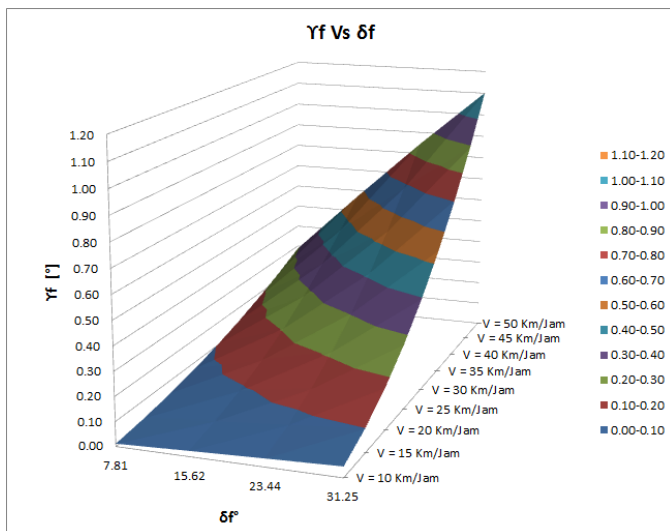
Gambar 4. 21. Grafik batas kecepatan guling dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi jumlah penumpang.

Pada grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa nilai V_{gf} dan V_{gr} selalu mengalami penurunan seiring dengan penambahan jumlah penumpang. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya penambahan jumlah penumpang menyebabkan titik berat kendaraan menjadi bergeser ke atas. Sehingga, jarak antara sumbu guling dengan titik berat kendaraan menjadi semakin besar. Oleh sebab itu, momen guling yang terjadi pada kendaraan yang sedang berbelok akan semakin meningkat. Meningkatnya nilai

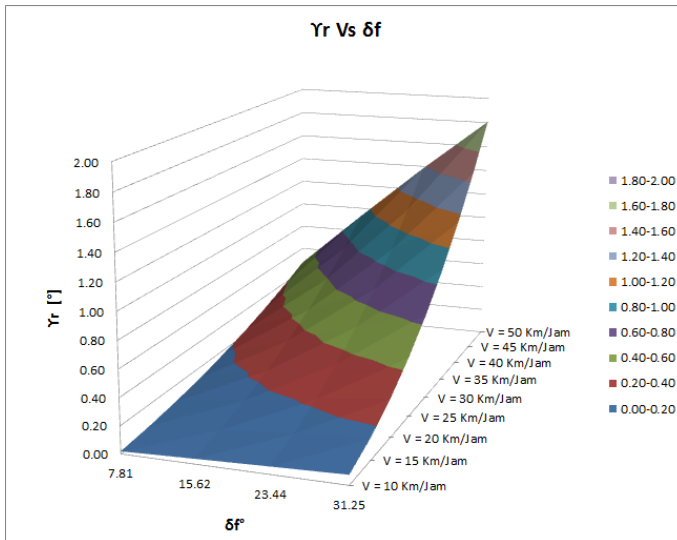
dari momen guling pada kendaraan ini menyebabkan batas kecepatan guling dari kendaraan akan menurun.

4.6.2. Analisa Besarnya Sudut Guling yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok

Pada saat kendaraan berbelok dengan kecepatan tertentu maka kendaraan tersebut akan mengalami kondisi *body roll* dengan sudut guling tertentu. Berdasarkan hasil perhitungan sudut guling pada bagian depan dan belakang kendaraan didapatkan grafik Y_f° Vs δ_f° dan Y_r° Vs δ_f° yang ditunjukkan pada gambar 4.22 dan 4.23 yang mana dapat dilihat bahwa *trendline* nilai sudut guling depan maupun belakang selalu meningkat seiring dengan kenaikan sudut belok yang diberikan. Selain itu dapat dilihat juga bahwa semakin besar kecepatan kendaraan berbelok maka sudut guling depan dan belakang yang terjadi akan semakin besar pula.



Gambar 4. 22. Grafik besarnya sudut guling depan (Y_f°) dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi kecepatan belok dan dinaiki oleh 2 orang penumpang.

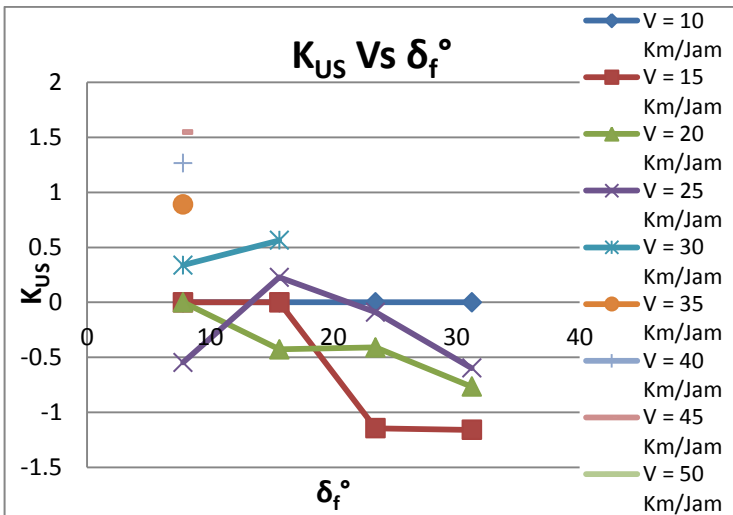


Gambar 4. 23. Grafik besarnya sudut guling belakang (Y_r°) dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi kecepatan belok dan dinaiki oleh 2 orang penumpang.

Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa besarnya sudut guling belakang yang terjadi ketika kendaraan berbelok cenderung lebih besar daripada sudut guling depan. Hal ini dapat terjadi karena kekakuan suspensi pada bagian belakang kendaraan lebih kecil nilainya dari pada suspensi bagian depan.

4.7. Analisa Perilaku Arah Kendaraan Berdasarkan Nilai Koefisien *Understeer* (K_{US})

Berikut ini adalah grafik nilai Koefisien *Understeer* (K_{US}) dari mobil Toyota Fotuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal dan tanah yang didapatkan dari hasil perhitungan. Grafik di bawah ini menunjukkan nilai koefisien *understeer* kendaraan terhadap besarnya sudut belok kendaraan yang diberikan. *Trendline* dari grafik nilai koefisien *understeer* ini berbeda-beda untuk setiap nilai kecepatan kendaraan yang diberikan



Gambar 4. 24. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.24 dan 4.25 pada saat mobil Toyota Fortuner yang dinaiki oleh 2 orang penumpang melintasi permukaan jalan aspal dengan kecepatan sebesar 10 km/jam dan sudut belok $7,81^\circ$ hingga $31,25^\circ$ dapat diketahui bahwa kendaraan tersebut mengalami kondisi netral yang mana masih belum terjadi sudut *slip* pada ban depan maupun ban belakang. Hal ini juga terjadi ketika mobil ini melintasi jalan tanah.

Pada kecepatan 15 km/jam kendaraan masih dalam kondisi netral dengan sudut belok sebesar $7,81^\circ$ dan $15,62^\circ$ ketika melintasi jalan aspal. Kemudian mulai mengalami kondisi *oversteer* pada sudut belok $23,44^\circ$ dan $31,25^\circ$. Pada kondisi ini menunjukkan bahwa sudah mulai terjadi sudut *slip* pada ban depan dan belakang kendaraan dimana nilai dari sudut *slip* pada ban belakang lebih besar daripada ban depan. Hal ini juga terjadi

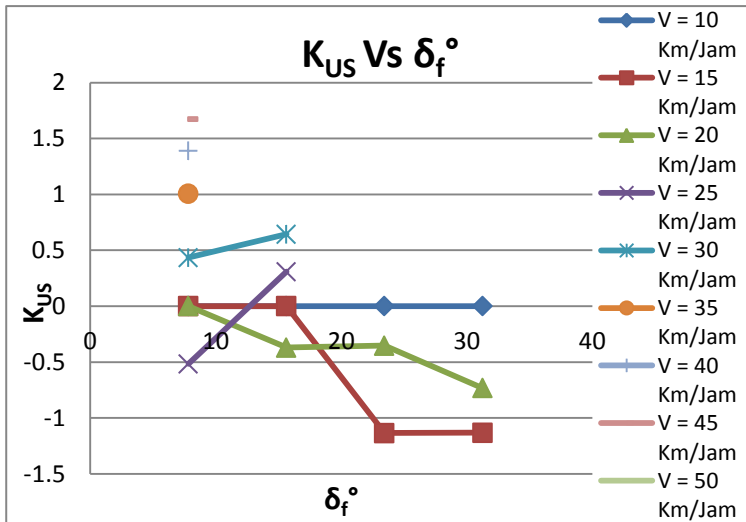
ketika kendaraan melintasi jalan tanah dengan kecepatan dan sudut belok yang sama.

Pada kecepatan 20 km/jam dengan sudut belok yang kecil yakni $7,81^\circ$ kendaraan masih mengalami kondisi netral ketika melintasi jalan aspal. Namun, pada sudut belok $15,62^\circ$ perilaku kendaraan cenderung *oversteer* hingga pada sudut belok terbesar yakni $31,25^\circ$. Ini menunjukkan bahwa sudut *slip* yang terjadi pada ban belakang lebih besar nilainya daripada sudut *slip* pada ban depan. Kondisi seperti ini juga terjadi ketika kendaraan melintasi permukaan jalan tanah. Pada kecepatan 20 km/jam dengan sudut belok terkecil hingga terbesar ini gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan masih belum terlalu besar sehingga masih bisa dilawan oleh gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan aspal maupun tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa kendaraan belum mengalami *skid*.

Pada kecepatan 25 km/jam dengan sudut belok sebesar $7,81^\circ$ perilaku kendaraan cenderung *oversteer* ketika melintasi jalan aspal. Dengan sudut belok $15,62^\circ$ perilaku kendaraan cenderung menjadi *understeer*. Hal ini terjadi karena besarnya sudut belok pada ban depan kendaraan lebih besar daripada sudut belok pada ban belakang. Namun, pada sudut belok $23,44^\circ$ hingga $31,25^\circ$ perilaku kendaraan menjadi *oversteer* kembali. Ketika melintasi permukaan jalan tanah, perilaku kendaraan serupa dengan perilaku kendaraan saat melintasi jalan aspal yakni mengalami *oversteer* terlebih dahulu kemudian mengalami *understeer*. Namun, pada gambar 4.24 di atas dapat diketahui bahwa pada kecepatan ini dengan sudut belok $23,44^\circ$ ke atas kendaraan telah mengalami *skid* sehingga perhitungan tidak bisa dilanjutkan. Hal ini dapat terjadi karena gaya lateral yang terjadi pada ban kendaraan saat melintasi jalan tanah sudah tidak mampu lagi ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara ban dengan permukaan jalan.

Pada kecepatan 30 km/jam dengan sudut belok $7,81^\circ$ dan $15,62^\circ$ perilaku kendaraan saat melintasi jalan aspal cenderung *understeer*. Hal ini juga terjadi ketika kendaraan melintasi

permukaan jalan tanah. Dengan sudut belok $23,44^\circ$ keatas pada jalan aspal maupun jalan tanah kendaraan sudah mengalami *skid* sehingga perhitungan tidak bisa lagi untuk dilanjutkan.



Gambar 4. 25. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan tanah.

Pada kecepatan 35 km/jam dengan sudut belok $7,81^\circ$ perilaku kendaraan saat melintasi jalan aspal cenderung *understeer*. Hal ini juga terjadi ketika kendaraan melintasi permukaan jalan tanah. Namun, dengan sudut belok $15,62^\circ$ keatas pada jalan aspal maupun tanah kendaraan sudah mengalami *skid* sehingga perhitungan tidak bisa lagi untuk dilanjutkan.

Pada kecepatan 40 km/jam dengan sudut belok $7,81^\circ$ perilaku kendaraan saat melintasi jalan aspal cenderung *understeer*. Hal ini juga terjadi ketika kendaraan melintasi permukaan jalan tanah. Pada jalan aspal dan tanah dengan sudut belok sebesar $15,62^\circ$ kendaraan sudah mengalami *skid*. Dengan sudut belok sebesar $23,44^\circ$ ke atas salah satu roda belakang

kendaraan mulai terangkat sehingga kendaraan dalam kondisi kritis. Hal ini dapat terjadi karena besarnya gaya normal yang terjadi pada salah satu roda yang terangkat tersebut sudah tidak mampu lagi menahan berat kendaraan. Pada kondisi ini perhitungan tidak dapat lagi dilakukan karena kendaraan telah mengalami *skid* dan guling sehingga sangat berbahaya ketika mengoperasikan kendaraan dalam kondisi yang demikian.

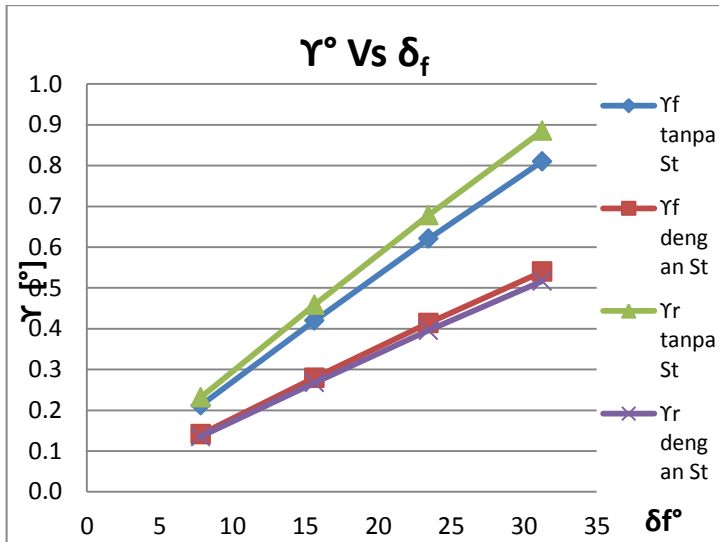
Pada kecepatan 45 km/jam dengan sudut belok $7,81^\circ$ perilaku kendaraan saat melintasi jalan aspal cenderung *understeer*. Hal ini juga dialami oleh kendaraan ketika melintasi permukaan jalan tanah. Pada jalan aspal dan tanah dengan sudut belok sebesar $15,62^\circ$ kendaraan sudah mengalami *skid*. Dengan sudut belok sebesar $23,44^\circ$ ke atas salah satu roda depan dan belakang kendaraan mulai terangkat sehingga kendaraan bisa terguling total. Pada kondisi ini perhitungan tidak dapat lagi dilakukan karena kendaraan telah mengalami *skid* dan guling sehingga sangat berbahaya ketika mengoperasikan kendaraan dalam kondisi yang demikian.

Pada kecepatan 50 km/jam dengan sudut belok $7,81^\circ$ kendaraan sudah mengalami *skid* ketika melintasi jalan aspal maupun tanah, dan kendaraan akan mulai terguling ketika berbelok dengan sudut belok sebesar $15,62^\circ$ keatas sehingga perhitungan tidak dapat lagi untuk dilanjutkan. Berdasarkan hal ini maka dapat dianjurkan bagi pengemudi mobil Toyota Fortuner untuk tidak mengendarai kendaraan tersebut pada kecepatan 50 Km/jam dengan sudut belok lebih dari $7,81^\circ$.

4.8. Analisa Pengaruh Penggunaan *Stabilizer*

4.8.1. Analisa Pengaruh Penggunaan *Stabilizer* Terhadap Sudut Guling yang Terjadi ketika Kendaraan Berbelok

Berdasarkan hasil perhitungan untuk mengetahui besarnya sudut guling depan dan belakang mobil Toyota Fortuner dengan kondisi menggunakan dan tanpa *stabilizer* didapatkan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.28.



Gambar 4. 26. Grafik besarnya sudut guling depan (Y_f°) dan belakang kendaraan (Y_r°) pada kecepatan 35 Km/jam dengan sudut belok (δ_f°) dengan dan tanpa menggunakan *stabilizer*.

Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa besarnya sudut guling depan yang terjadi lebih kecil ketika mobil menggunakan *stabilizer* depan, begitu pula pada sudut guling belakang yang terjadi. Ketika menggunakan *stabilizer* belakang, sudut guling belakang yang terjadi juga semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa penggunaan *stabilizer* sangat berperan dalam mengurangi resiko kendaraan untuk mengalami *body roll* dengan cara memperkecil sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Fungsi dari *stabilizer* itu sendiri ialah menambah kekakuan pegas pada sistem suspensi kendaraan untuk melawan terjadinya momen guling pada saat kendaraan berbelok.

4.8.2. Analisa Pengaruh Penggunaan *Stabilizer* Terhadap Batas Kecepatan Maksimum Guling Kendaraan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan data besarnya kecepatan guling depan dan belakang mobil Toyota Fortuner dengan kondisi tanpa dan menggunakan *stabilizer* yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6. Kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

Rsf	Rsr	P ban	δf	Vgf	Vgr
[N/m]	[N/m]	[Psi]	[°]	[km/jam]	[km/jam]
0	0	35	7,81	70,16996626	67,48480106
			15,62	50,90678632	46,83109865
			23,44	42,81625028	37,66099063
			31.,25	38,41586749	32,23664641
45340	0		7,81	70,17597275	67,48482239
			15,62	50,91131728	46,83112897
			23,44	42,82022208	37,66102653
			31,25	38,41959726	32,23668659
45340	45340		7,,81	70,17595329	67,48497779
			15,62	50,91128568	46,83123290
			23,44	42,82017927	37,66110720
			31,25	38,41954210	32,23675326

Pada hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh tabel 4.6 di atas dapat diketahui bahwa kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami guling depan dan belakang yang cenderung meningkat ketika pada mobil Toyota Fortuner dipasang *stabilizer* pada sistem suspensi depan maupun belakangnya.

4.9. Analisa Hasil Uji Jalan dengan Metode Radius Belok Tetap pada Jalan Aspal dan Tanah

Setelah dilakukan uji jalan pada radius belok 10 meter dengan 2 orang penumpang terhadap mobil Toyota Fortuner didapatkan beberapa data seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 serta gambar 4.27, 4.28, 4.29, dan 4.30. Pada gambar 4.27, 4.28, 4.29, dan 4.30 dapat diketahui nilai *slope* dari masing-masing grafik δ_r° Vs $\frac{V^2}{g \cdot R}$ tersebut. Nilai *slope* dari masing-masing grafik tersebut menunjukkan nilai koefisien *understeer* mobil Toyota Fortuner yang didapatkan dari hasil uji jalan dengan kondisi menggunakan *stabilizer* dan tanpa *stabilizer* pada permukaan jalan aspal serta tanah.

Berdasarkan nilai *slope* yang telah didapat, nilai koefisien *understeer* dari mobil Toyota Fortuner ialah sebagai berikut.

K_{US} pada jalan aspal dengan <i>stabilizer</i>	= 1,8045
K_{US} pada jalan aspal tanpa <i>stabilizer</i>	= 1,8115
K_{US} pada jalan tanahl dengan <i>stabilizer</i>	= 2,1511
K_{US} pada jalan aspal tanpa <i>stabilizer</i>	= 2,1641

Tabel 4. 7. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal dengan *stabilizer*.

V [km/jam]	V [m/s]	δSw [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² / g.R
10	2,778	261	20,78	12,56	9,81	10	0,08
15	4,167	268	20,78	12,89	9,81	10	0,18
20	5,556	274	20,78	13,18	9,81	10	0,31
25	6,944	278	20,78	13,38	9,81	10	0,49
30	8,333	287	20,78	13,81	9,81	10	0,71
36	10	298	20,78	14,34	9,81	10	1,02

Tabel 4. 8. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal tanpa *stabilizer*.

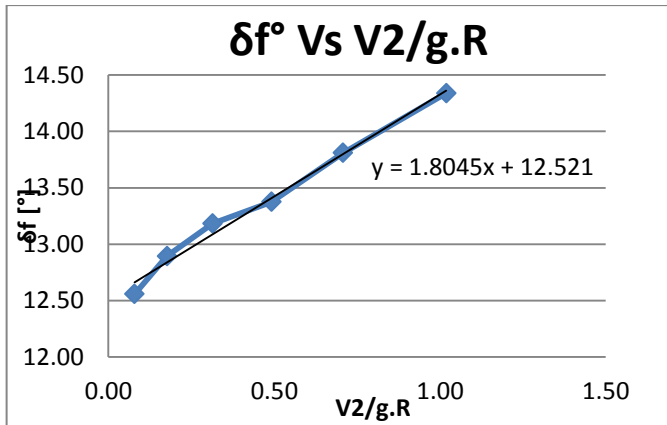
V [km/jam]	V [m/s]	δS_w [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² / g.R
10	2,778	264	20,78	12,70	9,81	10	0,08
15	4,167	278	20,78	13,38	9,81	10	0,18
20	5,556	284	20,78	13,66	9,81	10	0,31
25	6,944	294	20,78	14,15	9,81	10	0,49
30	8,333	297	20,78	14,29	9,81	10	0,71
36	10	303	20,78	14,58	9,81	10	1,02

Tabel 4. 9. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah dengan *stabilizer*.

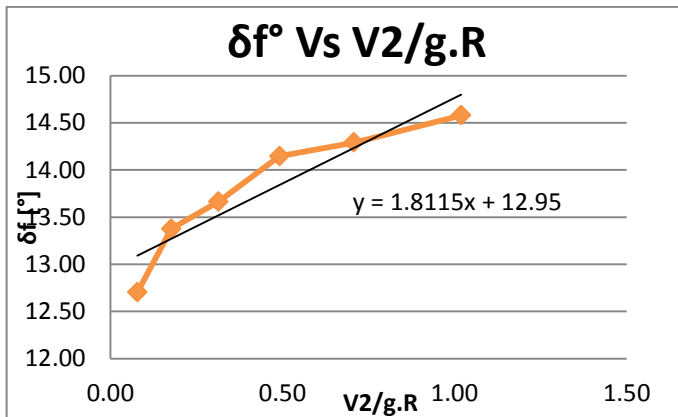
V [km/jam]	V [m/s]	δS_w [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² / g.R
10	2,778	267	20,78	12,85	9,81	10	0,08
15	4,167	278	20,78	13,38	9,81	10	0,18
20	5,556	283	20,78	13,62	9,81	10	0,31
25	6,944	288	20,78	13,86	9,81	10	0,49
30	8,333	294	20,78	14,15	9,81	10	0,71
32	8,889	306	20,78	14,72	9,81	10	0,81

Tabel 4. 10. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah tanpa *stabilizer*.

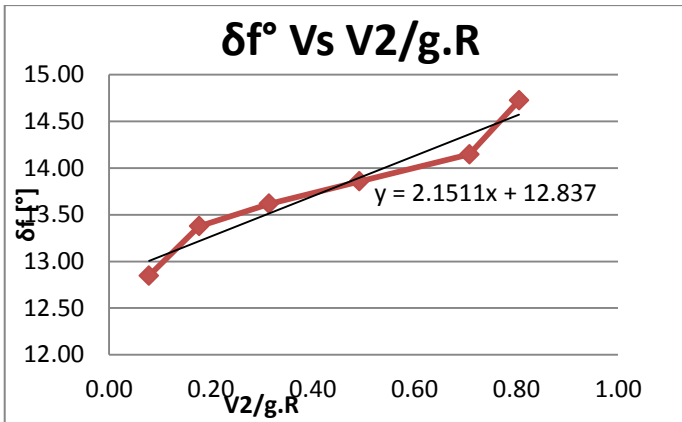
V [km/jam]	V [m/s]	δS_w [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² / g.R
10	2,778	273	20,78	13,13	9,81	10	0,08
15	4,167	282	20,78	13,57	9,81	10	0,18
20	5,556	287	20,78	13,81	9,81	10	0,31
25	6,944	293	20,78	14,10	9,81	10	0,49
30	8,333	298	20,78	14,34	9,81	10	0,71
32	8,889	312	20,78	15,01	9,81	10	0,81



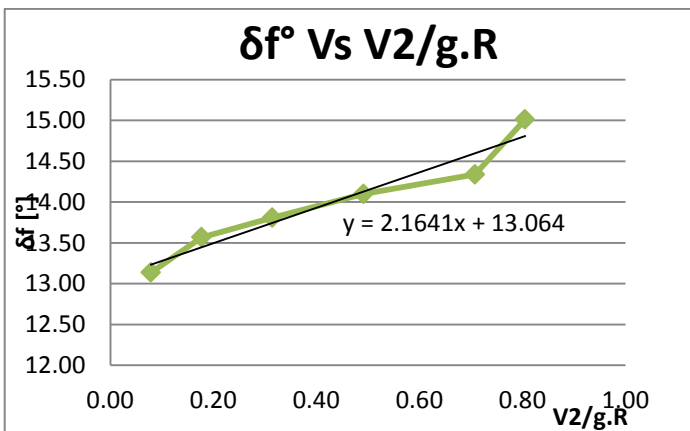
Gambar 4. 27. Grafik δf° Vs $\frac{V^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, menggunakan *stabilizer*.



Gambar 4. 28. Grafik δf° Vs $\frac{V^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, tanpa *stabilizer*.



Gambar 4. 29. Grafik $\delta f^\circ \text{ Vs } \frac{V^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, menggunakan *stabilizer*.



Gambar 4. 30. Grafik $\delta f^\circ \text{ Vs } \frac{V^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, tanpa *stabilizer*.

Melalui nilai *slope* yang didapatkan tersebut dapat disimpulkan bahwa perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner dengan radius belok 10 meter pada jalan aspal maupun jalan tanah adalah *understeer*. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan untuk beberapa kecepatan dan sudut belok tertentu yang menghasilkan radius belok nyata sebesar ± 10 meter sebagai berikut ini.

Tabel 4. 11. Hasil perhitungan nilai kus kendaraan.

Aspal				
V [km/jam]	$\delta f [^\circ]$	Rn [m]	KUS	Tanda nilai Kus
10	15,62	10,086	0	
15	15,62	10,086	0	
20	15,62	10,001	-0,427	-
25	15,62	10,158	0,227	+
30	15,62	10,342	0,564	+
35	15,62	10,549	0,751	+
Tanah				
V [km/jam]	$\delta f [^\circ]$	Rn [m]	KUS	Tanda nilai Kus
10	15,62	10,086	0	
15	15,62	10,086	0	
20	15,62	10,012	-0,371	-
25	15,62	10,183	0,308	+
30	15,62	10,378	0,643	+
35	15,62	10,594	0,823	+

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan seperti pada tabel 4.11 di atas, nilai K_{US} yang dihasilkan dengan radius belok nyata sebesar ± 10 meter yaitu mayoritas bernilai positif (+) maka dapat dikatakan bahwa perilaku arah belok kendaraan cenderung

understeer. Sehingga hasil yang didapatkan dari perhitungan dan uji jalan dapat dikatakan sama.

Nilai K_{US} pada hasil uji jalan yang didapatkan ketika mobil menggunakan *stabilizer* dan tanpa *stabilizer* menunjukkan angka yang hampir sama baik pada permukaan jalan aspal maupun tanah. Nilai ini sesuai dengan yang didapatkan pada hasil perhitungan bahwa selisih antara nilai K_{US} kendaraan yang menggunakan *stabilizer* dan yang tanpa *stabilizer* sangatlah kecil atau bisa dianggap sama. Berkenaan dengan hal ini maka dapat dikatakan bahwa penggunaan *stabilizer* pada mobil Toyota Fortuner ini tidak banyak berperan untuk memperbaiki perilaku arah kendaraan apabila ditinjau dari nilai koefisien *understeer*-nya. Namun, penggunaan *stabilizer* sangat berpengaruh terhadap besarnya sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Kendaraan yang menggunakan *stabilizer* mengalami sudut guling yang lebih kecil sehingga kecepatan maksimum kendaraan untuk terguling akan meningkat.

Berdasarkan data hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada tabel 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 di atas dapat dilihat bahwa sudut *steer* yang diberikan pada kendaraan untuk setiap variasi kecepatan pada jalan tanah cenderung lebih besar daripada sudut *steer* pada jalan aspal. Hal ini sudah sesuai dengan teori yang ada bahwa untuk mobil yang cenderung mengalami *understeer* memerlukan sudut *steer* yang lebih besar ketika berjalan pada permukaan jalan tanah daripada di atas permukaan jalan aspal. Hal itu disebabkan oleh sudut *slip* yang terjadi pada ban kendaraan nilainya akan lebih besar ketika kendaraan melintasi jalan tanah dibandingkan ketika melintasi jalan aspal.

Pada tabel 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10 di atas juga dapat diketahui bahwa pada jalan tanah kendaraan sudah mengalami *skid* pada kecepatan 32 Km/jam dengan sudut belok sebesar $14,72^\circ$ dan $15,01^\circ$. Sedangkan pada jalan aspal, kendaraan sudah mengalami *skid* pada kecepatan 36 Km/jam dengan sudut belok sebesar $14,34^\circ$ dan $14,58^\circ$. Kecepatan *skid* kendaraan pada jalan tanah lebih kecil daripada kecepatan *skid* kendaraan pada jalan

aspal. Hal ini bersesuaian dengan teori yang ada bahwa kendaraan akan lebih mudah mengalami *skid* ketika melintas pada jalan tanah dibandingkan melintas pada jalan aspal. Hasil yang didapatkan ini apabila dibandingkan dengan hasil perhitungan maka dapat dilihat pada tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4. 12. Perbandingan kecepatan *skid* kendaraan hasil perhitungan dengan hasil uji jalan.

Permukaan Jalan	Hasil Perhitungan		Hasil Uji Jalan	
	δf [°]	V. <i>Skid</i> [km/jam]	δf [°]	V. <i>Skid</i> [km/jam]
Aspal kering	14,34	36,24	14,34	36
	14,58	35,96	14,58	36
Tanah kering	14,72	30,98	14,72	32
	15,01	30,69	15,01	32

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan dan hasil uji jalan nilai kecepatan *skid* kendaraan dengan sudut belok yang diberikan pada kendaraan ketika melintas pada jalan aspal dan tanah tersebut menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan nilai *error* yang besarnya berturut-turut yaitu 0,67%, 0,11%, 3,19%, dan 4,09%. Dengan ini dapat dikatakan bahwa hasil uji jalan yang didapatkan sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis yang telah dilakukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kantor Kepolisian Republik Indonesia, 2013. **Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987-2013**, <URL:<http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>>; [Accessed 20.11.15].
- [2] Dukkipati, R.V., et. all., 2008. “Road Vehicle Dynamic”. **Warrendale (PA): Society of Automotive Engineers**.
- [3] Uys, P.E., Els, P.S., Thoresson, M.J., 2006. “Criteria for Handling Measurement”. **Journal of Terramechanics**; 43:43-67.
- [4] Cronje, P.H., and Els P.S., 2009. “Improving Off-Road Vehicle Handling Using An Active Anti-Roll Bar”. **Journal of Terramechanics: Elsevier**.
- [5] Sutantra, I Nyoman, dan Bambang Sampurno. 2010. **Teknologi Otomotif, Edisi Kedua**. Surabaya: Guna Widya.
- [6] Wahyuningrum, Diani. 2015. **Analisa Perilaku Arah Mobil Multiguna Pedesaan Dengan Variasi Kecepatan, Sudut Belok, Koefisien Gesek Dan Sudut Kemiringan Melintang Jalan**. Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [7] G. Rill, George., 2006. “Vehicle Dynamics”. **University of Applied Sciences**.
- [8] Bhanage, Amol and Padmanabhan, K., 2015. ”Static and Fatigue Simulation of Automotive Anti Roll Bar before DBTT”. **International Journal of Applied Engineering Research**.

- [9] Ledesma, Ragnar, 2006. **Technical Seminar Series-Vehicle Dynamic.**<URL:<http://image.slidesharecdn.com/3dbbc3de-eba2-4e37-a30a-39e95be32a05-150310120250-conversion-gate01/95/vehicle-dynamics-18-638.jpg?cb=1426007129>>: [Accessed 29.11.15].

LAMPIRAN

Tabel A.1. Sudut *slip* pada ban depan dan belakang kendaraan dengan 2 orang penumpang dan pada kecepatan 35 Km/jam, di jalan aspal dan tanah.

P ban	δf	V = 35 Km/Jam			
		<i>a</i> fa	<i>a</i> ra	<i>a</i> ft	<i>a</i> rt
[Psi]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
25	7.81	6.7971	6.3835	6.9087	6.4560
	15.62	15.9016	15.1982	16.0334	15.2845
	23.44	23.5015	23.3076	23.6332	23.3963
	31.25	29.9767	30.9512	30.1051	31.0406
30	7.81	6.9104	6.4899	6.9087	6.4560
	15.62	16.1666	15.4515	16.0334	15.2845
	23.44	23.8932	23.6960	23.6332	23.3962
	31.25	30.4763	31.4670	30.1051	31.0406
35	7.81	6.6276	6.2243	6.9087	6.4560
	15.62	15.5051	14.8192	16.0334	15.2845
	23.44	22.9154	22.7264	23.6332	23.3962
	31.25	29.2292	30.1794	30.1051	31.0406
40	7.81	5.9487	5.5868	6.9087	6.4560
	15.62	13.9169	13.3013	16.0334	15.2845
	23.44	20.5683	20.3986	23.6332	23.3962
	31.25	26.2353	27.0882	30.1051	31.0406

Tabel A.2. Hasil perhitungan batas kecepatan maksimum agar kendaraan tidak terguling dengan *stabilizer* depan.

δf°	1 Penumpang		2 Penumpang	
	Vgf	Vgr	Vgf	Vgr
7.81	71.2831	68.5517	70.1760	67.4848
15.62	51.7176	47.5638	50.9113	46.8311
23.44	43.5013	38.2458	42.8202	37.6610

31.25	39.0345	32.7344	38.4196	32.2367
δf°	4 Penumpang		7 Penumpang	
	Vgf	Vgr	Vgf	Vgr
7.81	68.3259	65.7880	66.2165	63.9347
15.62	49.5497	45.7238	47.9773	44.5868
23.44	41.6463	36.8144	40.2580	35.9941
31.25	37.3254	31.5411	35.9863	30.9004

Tabel A.3. Hasil perhitungan sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok dengan 2 orang penumpang dan hanya menggunakan *stabilizer* depan.

δf	V = 10 Km/Jam		V = 15 Km/Jam		V = 20 Km/Jam	
	Yf	Yr	Yf	Yr	Yf	Yr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.0115	0.0189	0.0259	0.0425	0.0460	0.0755
15.62	0.0228	0.0374	0.0514	0.0842	0.0913	0.1497
23.44	0.0338	0.0554	0.0760	0.1246	0.1350	0.2215
31.25	0.0441	0.0723	0.0992	0.1626	0.1763	0.2891
δf	V = 25 Km/Jam		V = 30 Km/Jam		V = 35 Km/Jam	
	Yf	Yr	Yf	Yr	Yf	Yr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.0719	0.1180	0.1036	0.1699	0.1410	0.2312
15.62	0.1427	0.2340	0.2055	0.3369	0.2796	0.4586
23.44	0.2110	0.3460	0.3039	0.4983	0.4136	0.6782
31.25	0.2754	0.4517	0.3966	0.6504	0.5399	0.8853
δf	V = 40 Km/Jam		V = 45 Km/Jam		V = 50 Km/Jam	
	Yf	Yr	Yf	Yr	Yf	Yr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.1842	0.3020	0.2331	0.3823	0.2878	0.4719
15.62	0.3653	0.5990	0.4623	0.7580	0.5707	0.9359
23.44	0.5402	0.8858	0.6837	1.1211	0.8440	1.3841
31.25	0.7051	1.1563	0.8924	1.4634	1.1018	1.8067

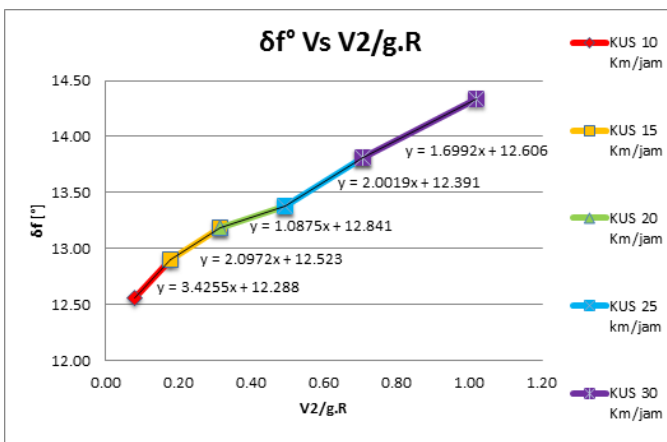
Tabel A.4. Hasil perhitungan sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok dengan 2 orang penumpang dan tanpa menggunakan *stabilizer* depan maupun belakang.

δf	V = 10 Km/Jam		V = 15 Km/Jam		V = 20 Km/Jam	
	Υf	Υr	Υf	Υr	Υf	Υr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.0173	0.0189	0.0389	0.0425	0.0691	0.0755
15.62	0.0343	0.0374	0.0771	0.0842	0.1370	0.1497
23.44	0.0507	0.0554	0.1140	0.1246	0.2026	0.2215
31.25	0.0661	0.0723	0.1488	0.1626	0.2645	0.2891
δf	V = 25 Km/Jam		V = 30 Km/Jam		V = 35 Km/Jam	
	Υf	Υr	Υf	Υr	Υf	Υr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.1080	0.1180	0.1555	0.1699	0.2116	0.2312
15.62	0.2141	0.2340	0.3083	0.3369	0.4196	0.4586
23.44	0.3166	0.3460	0.4560	0.4983	0.6206	0.6782
31.25	0.4133	0.4517	0.5952	0.6504	0.8101	0.8853
δf	V = 40 Km/Jam		V = 45 Km/Jam		V = 50 Km/Jam	
	Υf	Υr	Υf	Υr	Υf	Υr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.2764	0.3020	0.3498	0.3823	0.4319	0.4719
15.62	0.5481	0.5990	0.6937	0.7580	0.8564	0.9359
23.44	0.8106	0.8858	1.0259	1.1211	1.2666	1.3841
31.25	1.0581	1.1563	1.3392	1.4634	1.6533	1.8067

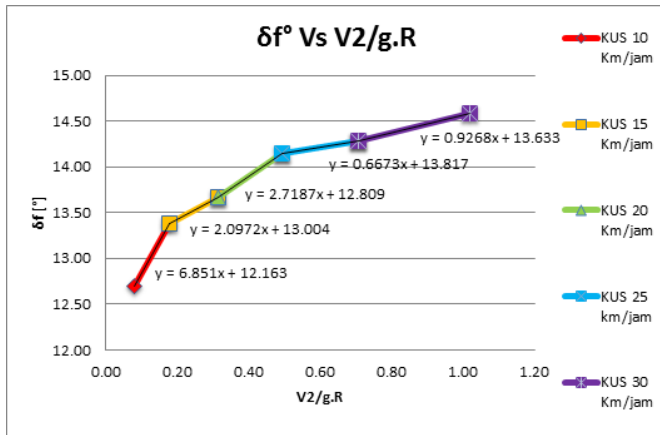
Tabel A.5. Hasil perhitungan sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok dengan 2 orang penumpang dan menggunakan *stabilizer* depan maupun belakang.

δf	V = 10 Km/Jam		V = 15 Km/Jam		V = 20 Km/Jam	
	Υf	Υr	Υf	Υr	Υf	Υr
[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.0115	0.0110	0.0259	0.0248	0.0460	0.0441

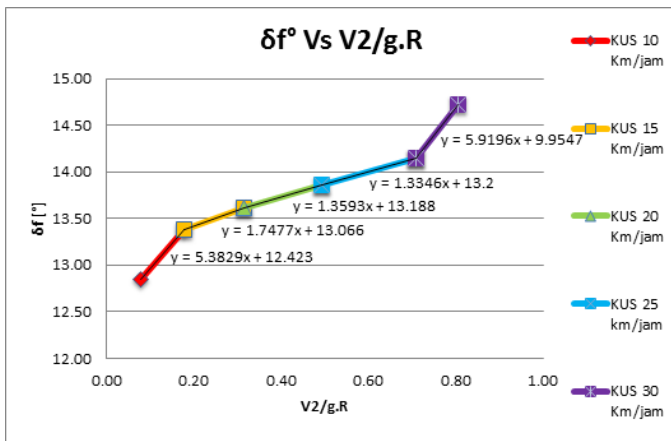
15.62	0.0228	0.0218	0.0514	0.0491	0.0913	0.0874
23.44	0.0338	0.0323	0.0760	0.0727	0.1350	0.1292
31.25	0.0441	0.0422	0.0992	0.0949	0.1763	0.1687
δf	V = 25 Km/Jam		V = 30 Km/Jam		V = 35 Km/Jam	
	Yf	Yr	Yf	Yr	Yf	Yr
	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.0719	0.0688	0.1036	0.0991	0.1410	0.1349
15.62	0.1427	0.1365	0.2055	0.1966	0.2796	0.2676
23.44	0.2110	0.2019	0.3039	0.2907	0.4136	0.3957
31.25	0.2754	0.2635	0.3966	0.3795	0.5399	0.5166
δf	V = 40 Km/Jam		V = 45 Km/Jam		V = 50 Km/Jam	
	Yf	Yr	Yf	Yr	Yf	Yr
	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
7.81	0.1842	0.1762	0.2331	0.2230	0.2878	0.2754
15.62	0.3653	0.3495	0.4623	0.4423	0.5707	0.5461
23.44	0.5402	0.5169	0.6837	0.6542	0.8440	0.8076
31.25	0.7051	0.6747	0.8924	0.8539	1.1018	1.0542



Gambar A.1. Grafik δ_f° Vs $\frac{V^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, menggunakan *stabilizer*.



Gambar A.2. Grafik δ_f° Vs $\frac{v^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang, tanpa *stabilizer*.



Gambar A.3. Grafik δ_f° Vs $\frac{v^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, menggunakan *stabilizer*.

Tabel A.6. Hasil perhitungan gaya normal pada ban mobil Toyota Fortuner yang berbelok dengan 2 penumpang

V	δf	Fz1	Fz2	Fz3	Fz4
[Km/Jam]	[°]	[N]	[N]	[N]	[N]
10	7.81	4337.9342	5291.9679	5519.3635	4524.6894
	15.62	4233.0891	5193.2534	5644.1839	4603.4287
	23.44	4122.6145	5107.0562	5773.9578	4670.3266
	31.25	4008.5238	5035.7041	5906.2458	4723.4813
15	7.81	4216.1971	5154.8608	5666.5009	4636.3962
	15.62	3980.2954	4932.7532	5947.3468	4813.5596
	23.44	3731.7276	4738.8094	6239.3380	4964.0799
	31.25	3475.0236	4578.2673	6536.9862	5083.6779
20	7.81	4045.7651	4962.9109	5872.4933	4792.7857
	15.62	3626.3844	4568.0529	6371.7748	5107.7429
	23.44	3184.4861	4223.2640	6890.8704	5375.3346
	31.25	2728.1234	3937.8557	7420.0227	5587.9532
25	7.81	3826.6382	4716.1182	6137.3406	4993.8580
	15.62	3171.3559	4099.1525	6917.4680	5485.9786
	23.44	2480.8897	3560.4199	7728.5549	5904.0905
	31.25	1767.8231	3114.4694	8555.3553	6236.3072
30	7.81	3558.8165	4414.4826	6461.0429	5239.6130
	15.62	2615.2099	3526.0521	7584.4264	5948.2666
	23.44	1620.9387	2750.2770	8752.3915	6550.3478
	31.25	594.1227	2108.1084	9942.9841	7028.7398
35	7.81	3242.2999	4058.0042	6843.6002	5530.0507
	15.62	1957.9465	2848.7515	8372.6500	6494.6070
	23.44	604.6329	1792.8355	9962.3801	7314.1064
	31.25	-792.9777	918.7727	11582.9090	7965.2510
40	7.81	2877.0884	3646.6830	7285.0125	5865.1711
	15.62	1199.5657	2067.2509	9282.1387	7124.9998
	23.44	-568.0276	688.0953	11358.5209	8195.3664
	31.25	-2393.4783	-453.5378	13475.1301	9045.8410
45	7.81	2463.1821	3180.5190	7785.2797	6244.9743
	15.62	340.0674	1181.5502	10312.8925	7839.4449
	23.44	-1897.0429	-563.9436	12940.8138	9194.1277
	31.25	-4207.3789	-2008.8230	15619.6473	10270.5095
50	7.81	2000.5809	2659.5121	8344.4019	6669.4601
	15.62	-620.5484	191.6494	11464.9115	8637.9424
	23.44	-3382.4129	-1963.2812	14709.2588	10310.3903
	31.25	-6234.6795	-3747.0829	18016.4607	11639.2568

Tabel A.7. Nilai Koefisien *Understeer* (KUS) Mobil Toyota Fortuner pada Tekanan Ban 35 Psi dengan 1 Orang Penumpang.

δf	V = 10 Km/Jam						V = 15 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N
15.62	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N
23.44	6.7213	0	N	6.7213	0	N	6.6409	-1.0654	OS	6.6419	-1.0523	OS
31.25	5.0415	0	N	5.0415	0	N	4.9822	-1.0479	OS	4.9839	-1.0170	OS
δf	V = 20 Km/Jam						V = 25 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	19.8571	-0.5011	OS	19.8779	-0.4681	OS
15.62	10.0138	-0.3597	OS	10.0259	-0.2997	OS	10.1819	0.3040	US	10.2086	0.3887	US
23.44	6.6795	-0.3114	OS	6.6876	-0.2510	OS	6.7246	0.0159	US	6.7362	0.0712	US
31.25	4.9772	-0.6392	OS	4.9810	-0.6016	OS	4.9681	-0.4667	OS	4.9723	-0.4400	OS
δf	V = 30 Km/Jam						V = 35 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		

Tabel A.8. Nilai Koefisien Understeer (KUS) Mobil Toyota Fortuner pada Tekanan Ban 35 Psi dengan 2 Orang Penumpang.

δf	V = 10 Km/Jam						V = 15 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N
15.62	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N
23.44	6.7213	0	N	6.7213	0	N	6.6349	-1.1447	OS	6.6356	-1.1356	OS
31.25	5.0415	0	N	5.0415	0	N	4.9759	-1.1583	OS	4.9774	-1.1318	OS
δf	V = 20 Km/Jam						V = 25 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	19.8291	-0.5456	OS	19.8480	-0.5157	OS
15.62	10.0002	-0.4275	OS	10.0116	-0.3708	OS	10.1577	0.2269	US	10.1833	0.3084	US
23.44	6.6663	-0.4101	OS	6.6739	-0.3533	OS	6.7025	-0.0898	OS	6.7133	-0.0382	OS
31.25	4.9644	-0.7661	OS	4.9678	-0.7326	OS	4.9475	-0.5976	OS	4.9511	-0.5748	OS
δf	V = 30 Km/Jam						V = 35 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		

7.81	20.4793	0.3385	US	20.5658	0.4339	US	21.2708	0.8902	US	21.4138	1.0061	US
15.62	10.3418	0.5638	US	10.3776	0.6429	US	10.5495	0.7509	US	10.5942	0.8234	US
23.44	6.7396	0.0607	U	6.7523	0.1028	US	6.7760	0.1330	US	6.7900	0.1670	US
31.25	4.9238	-0.5197	OS	4.9269	-0.5060	OS	4.8927	-0.4825	OS	4.8950	-0.4752	OS
δf	V = 40 Km/Jam						V = 45 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]					
7.81	22.2129	1.2662	US	22.4117	1.3896	US	23.3261	1.5463	US	23.5866	1.6741	US
15.62	10.7799	0.8609	US	10.8334	0.9274	US	11.0332	0.9287	US	11.0961	0.9904	US
23.44	6.8104	0.1659	US	6.8253	0.1937	US	6.8420	0.1776	US	6.8577	0.2007	US
31.25	4.8542	-0.4651	OS	4.8553	-0.4623	OS	4.8083	-0.4575	OS	4.8081	-0.4579	OS
δf	V = 50 Km/Jam						KETERANGAN :					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB						
[°]	[m]			[m]								
7.81	24.6416	1.7750	US	24.9754	1.9076	US	PAB = Perilaku Arah Belok Rn = Radius Nyata a = Aspal t = Tanah					
15.62	11.3103	0.9723	US	11.3835	1.0305	US						
23.44	6.8703	0.1775	US	6.8866	0.1970	US						
31.25	4.7553	-0.4549	OS	4.7536	-0.4576	OS						

KETERANGAN :

PAB = Perilaku Arah Belok

Rn = Radius Nyata

a = Aspal

t = Tanah

N = Netral

US = *Understeer*OS = *Oversteer*

Tabel A.9. Nilai Koefisien Understeer (KUS) Mobil Toyota Fortuner pada Tekanan Ban 35 Psi dengan 4 Orang Penumpang.

δf	V = 10 Km/Jam						V = 15 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N
15.62	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N
23.44	6.7213	0	N	6.7213	0	N	6.6201	-1.3411	OS	6.6195	-1.3480	OS
31.25	5.0415	0	N	5.0415	0	N	4.9429	-1.7419	OS	4.9424	-1.7497	OS
δf	V = 20 Km/Jam						V = 25 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	19.8237	-0.5542	OS	19.8348	-0.5366	OS
15.62	9.9296	-0.7779	OS	9.9345	-0.7535	OS	9.9275	-0.5044	OS	9.9379	-0.4713	OS
23.44	6.5656	-1.1597	OS	6.5673	-1.1472	OS	6.5009	-1.0509	OS	6.5022	-1.0450	OS
31.25	4.8680	-1.7239	OS	4.8669	-1.7344	OS	4.7795	-1.6656	OS	4.7766	-1.6838	OS
δf	V = 30 Km/Jam						V = 35 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]			[m]		

7.81	20.0841	-0.0975	OS	20.1305	-0.0463	OS	20.3898	0.1761	US	20.4611	0.2339	US
15.62	9.9232	-0.3598	OS	9.9359	-0.3317	OS	9.9142	-0.2789	OS	9.9277	-0.2570	US
23.44	6.4250	-0.9812	OS	6.4247	-0.9821	OS	6.3382	-0.9319	OS	6.3359	-0.9377	US
31.25	4.6788	-1.6011	OS	4.6737	-1.6240	OS	4.5677	-1.5366	OS	4.5600	-1.5617	OS
δf	V = 40 Km/Jam						V = 45 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]					
7.81	20.7351	0.3491	US	20.8267	0.4060	US	21.1182	0.4637	US	21.2284	0.5177	US
15.62	9.8994	-0.2319	OS	9.9128	-0.2153	OS	9.8781	-0.2041	US	9.8909	-0.1916	OS
23.44	6.2415	-0.8938	OS	6.2367	-0.9027	OS	6.1356	-0.8620	US	6.1282	-0.8728	OS
31.25	4.4481	-1.4736	OS	4.4377	-1.4994	OS	4.3217	-1.4123	OS	4.3087	-1.4378	OS
δf	V = 50 Km/Jam						KETERANGAN :					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB						
[°]	[m]			[m]								
7.81	21.5391	0.5428	US	21.6676	0.5938	US						
15.62	9.8499	-0.1878	OS	9.8618	-0.1783	OS						
23.44	6.0217	-0.8340	OS	6.0116	-0.8460	OS						
31.25	4.1903	-1.3527	OS	4.1748	-1.3774	OS						
							PAB = Perilaku Arah Belok					
							Rn = Radius Nyata					
							a = Aspal					
							t = Tanah					

KETERANGAN :

PAB = Perilaku Arah Belok

Rn = Radius Nyata

a = Aspal

t = Tanah

N = Netral

US = *Understeer*

OS = *Oversteer*

Tabel A.10. Nilai Koefisien *Understeer* (KUS) Mobil Toyota Fortuner pada Tekanan Ban 35 Psi dengan 7 Orang Penumpang.

δf	V = 10 Km/Jam						V = 15 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N	20.1725	0	N
15.62	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N	10.0863	0	N
23.44	6.7213	0	N	6.7213	0	N	6.6039	-1.5545	OS	6.5975	-1.6405	OS
31.25	5.0415	0	N	5.0415	0	N	4.8675	-3.0733	OS	4.8603	-3.1995	OS
δf	V = 20 Km/Jam						V = 25 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		
7.81	20.1725	0	N	20.1725	0	N	19.9924	-0.2863	OS	19.9519	-0.3506	OS
15.62	9.7789	-1.5259	OS	9.7587	-1.6265	OS	9.3528	-2.3306	OS	9.3184	-2.4397	OS
23.44	6.3165	-3.0161	OS	6.2998	-3.1402	OS	6.0053	-3.4138	OS	5.9816	-3.5270	OS
31.25	4.6298	-4.0895	OS	4.6163	-4.2237	OS	4.3761	-4.2300	OS	4.3576	-4.3477	OS
δf	V = 30 Km/Jam						V = 35 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
	[m]			[m]			[m]			[m]		

7.81	19.1431	-1.1358	OS	19.0569	-1.2308	OS	18.2669	-1.5446	OS	18.1538	-1.6363	OS
15.62	8.9075	-2.6009	OS	8.8636	-2.6980	OS	8.4577	-2.6401	OS	8.4065	-2.7231	OS
23.44	5.6849	-3.4319	OS	5.6556	-3.5288	OS	5.3648	-3.3001	OS	5.3310	-3.3822	OS
31.25	4.1176	-4.0785	OS	4.0950	-4.1783	OS	3.8622	-3.8250	OS	3.8362	-3.9091	OS
δf	V = 40 Km/Jam						V = 45 Km/Jam					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB
[°]	[m]			[m]			[m]					
7.81	17.3902	-1.7267	OS	17.2601	-1.8074	OS	16.5294	-1.7864	OS	16.3881	-1.8557	OS
15.62	8.0133	-2.5730	OS	7.9565	-2.6435	OS	7.5808	-2.4570	OS	7.5197	-2.5170	OS
23.44	5.0518	-3.1096	OS	5.0144	-3.1792	OS	4.7503	-2.9006	OS	4.7103	-2.9596	OS
31.25	3.6149	-3.5425	OS	3.5864	-3.6132	OS	3.3792	-3.2614	OS	3.3489	-3.3210	OS
δf	V = 50 Km/Jam						KETERANGAN : PAB = Perilaku Arah Belok Rn = Radius Nyata a = Aspal t = Tanah					
	Rn.a	KUS.a	PAB	Rn.t	KUS.t	PAB						
[°]	[m]			[m]								
7.81	15.6953	-1.7783	OS	15.5465	-1.8374	OS						
15.62	7.1650	-2.3205	OS	7.1006	-2.3717	OS						
23.44	4.4633	-2.6917	OS	4.4212	-2.7418	OS						
31.25	3.1570	-2.9949	OS	3.1253	-3.0452	OS						

KETERANGAN :

PAB = Perilaku Arah Belok

Rn = Radius Nyata

a = Aspal

t = Tanah

N = Netral

US = Understeer

OS = *Oversteer*

Tabel A.11. Hasil perhitungan analisa *skid* dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.

SKID (Aspal)											
V	δf	F _{cfy}	F _{cry}	F _{gf} (ak)	PAB	F _{gf} (ab)	PAB	F _{gr} (ak)	PAB	F _{gr} (ab)	PAB
[Km/Jam]	[°]	[N]	[N]	[N]		[N]		[N]		[N]	
10	7.81	420.0510	344.9059	9730.1982	NO SKID	7567.9320	NO SKID	7976.3613	NO SKID	6203.8365	NO SKID
10	15.62	832.9703	683.9560	9753.6935	NO SKID	7586.2061	NO SKID	7952.8660	NO SKID	6185.5624	NO SKID
10	23.44	1231.9177	1011.5336	9792.9125	NO SKID	7616.7097	NO SKID	7913.6470	NO SKID	6155.0588	NO SKID
10	31.25	1608.0870	1320.4081	9847.7549	NO SKID	7659.3649	NO SKID	7858.8046	NO SKID	6112.4036	NO SKID
15	7.81	945.1147	776.0382	9739.2255	NO SKID	7574.9532	NO SKID	7967.3340	NO SKID	6196.8153	NO SKID
15	15.62	1874.1833	1538.9010	9792.0899	NO SKID	7616.0700	NO SKID	7914.4696	NO SKID	6155.6985	NO SKID
15	23.44	2771.8149	2275.9507	9880.3327	NO SKID	7684.7032	NO SKID	7826.2268	NO SKID	6087.0653	NO SKID
15	31.25	3618.1958	2970.9181	10003.7281	NO SKID	7780.6774	NO SKID	7702.8314	NO SKID	5991.0911	NO SKID
20	7.81	1680.2038	1379.6235	9751.8638	NO SKID	7584.7829	NO SKID	7954.6957	NO SKID	6186.9856	NO SKID
20	15.62	3331.8814	2735.8240	9845.8449	NO SKID	7657.8794	NO SKID	7860.7146	NO SKID	6113.8891	NO SKID
20	23.44	4927.6709	4046.1345	10002.7209	NO	7779.8941	NO	7703.8386	NO	5991.8744	NO

					SKID		SKID		SKID		SKID
20	31.25	6432.3481	5281.6322	10222.0906	NO SKID	7950.5149	NO SKID	7484.4689	NO SKID	5821.2536	NO SKID
25	7.81	2625.3185	2155.6618	9768.1129	NO SKID	7597.4212	NO SKID	7938.4466	NO SKID	6174.3473	NO SKID
25	15.62	5206.0646	4274.7250	9914.9585	NO SKID	7711.6344	NO SKID	7791.6010	NO SKID	6060.1341	NO SKID
25	23.44	7699.4858	6322.0852	10160.0773	NO SKID	7902.2823	NO SKID	7546.4822	NO SKID	5869.4862	SKID
25	31.25	10050.5438	8252.5503	10502.8423	NO SKID	8168.8773	SKID	7203.7172	SKID	5602.8912	SKID
30	7.81	3780.4586	3104.1529	9787.9730	NO SKID	7612.8679	NO SKID	7918.5865	NO SKID	6158.9006	NO SKID
30	15.62	7496.7331	6155.6039	9999.4306	NO SKID	7777.3349	NO SKID	7707.1289	NO SKID	5994.4336	SKID
30	23.44	11087.2595	9103.8026	10352.4016	SKID	8051.8679	SKID	7354.1579	SKID	5719.9006	SKID
30	31.25	14472.7831	11883.6725	10845.9833	SKID	8435.7648	SKID	6860.5762	SKID	5336.0037	SKID
35	7.81	5145.6243	4225.0971	9811.4440	NO SKID	7631.1231	NO SKID	7895.1155	NO SKID	6140.6454	NO SKID
35	15.62	10203.8867	8378.4609	10099.2613	SKID	7854.9810	SKID	7607.2982	SKID	5916.7875	SKID
35	23.44	15090.9921	12391.2869	10579.6941	SKID	8228.6510	SKID	7126.8654	SKID	5543.1175	SKID
35	31.25	19699.0659	16174.9987	11251.5135	SKID	8751.1772	SKID	6455.0460	SKID	5020.5913	SKID
40	7.81	6720.8154	5518.4941	9838.5259	NO SKID	7652.1868	NO SKID	7868.0336	NO SKID	6119.5817	NO SKID

40	15.62	13327.5255	10943.2959	10214.4506	SKID	7944.5727	SKID	7492.1089	SKID	5827.1958	SKID
40	23.44	19710.6836	16184.5380	10841.9546	SKID	8432.6314	SKID	6864.6049	SKID	5339.1371	SKID
40	31.25	25729.3922	21126.5289	11719.4331	SKID	9115.1146	SKID	5987.1264	SKID	4656.6539	SKID
45	7.81	8506.0319	6984.3441	9869.2188	NO SKID	7676.0591	SKID	7837.3407	NO SKID	6095.7094	SKID
45	15.62	16867.6494	13850.1089	10344.9985	SKID	8046.1099	SKID	7361.5610	SKID	5725.6586	SKID
45	23.44	24946.3339	20483.5559	11139.1832	SKID	8663.8092	SKID	6567.3763	SKID	5107.9593	SKID
45	31.25	32563.7620	26738.2631	12249.7419	SKID	9527.5770	SKID	5456.8176	SKID	4244.1915	SKID
50	7.81	10501.2740	8622.6471	9903.5226	SKID	7702.7398	SKID	7803.0369	SKID	6069.0287	SKID
50	15.62	20824.2586	17098.8998	10490.9049	SKID	8159.5927	SKID	7215.6546	SKID	5612.1758	SKID
50	23.44	30797.9431	25288.3407	11471.3799	SKID	8922.1843	SKID	6235.1796	SKID	4849.5842	SKID
50	31.25	40202.1754	33010.2014	12842.4400	SKID	9988.5644	SKID	4864.1195	SKID	3783.2041	SKID

Tabel A.12. Hasil perhitungan analisa *skid* dengan 2 orang penumpang pada jalan tanah.

SKID (Aspal)											
V	δf	F _{cfy}	F _{cry}	F _{gf} (tk)	PAB	F _{gf} (tb)	PAB	F _{gf} (tk)	PAB	F _{gf} (tb)	PAB
[Km/Jam]	[°]	[N]	[N]	[N]		[N]		[N]		[N]	
10	7.81	420.0510	344.9059	7351.705	NO SKID	5946.232	NO SKID	6026.584	NO SKID	4874.443	NO SKID
10	15.62	832.9703	683.9560	7369.457	NO SKID	5960.59	NO SKID	6008.832	NO SKID	4860.085	NO SKID
10	23.44	1231.9177	1011.5336	7399.089	NO	5984.558	NO	5979.2	NO	4836.118	NO

					SKID		SKID		SKID		SKID
10	31.25	1608.0870	1320.4081	7440.526	NO SKID	6018.072	NO SKID	5937.763	NO SKID	4802.603	NO SKID
15	7.81	945.1147	776.0382	7358.526	NO SKID	5951.749	NO SKID	6019.763	NO SKID	4868.926	NO SKID
15	15.62	1874.1833	1538.9010	7398.468	NO SKID	5984.055	NO SKID	5979.821	NO SKID	4836.62	NO SKID
15	23.44	2771.8149	2275.9507	7465.14	NO SKID	6037.981	NO SKID	5913.149	NO SKID	4782.694	NO SKID
15	31.25	3618.1958	2970.9181	7558.372	NO SKID	6113.389	NO SKID	5819.917	NO SKID	4707.286	NO SKID
20	7.81	1680.2038	1379.6235	7368.075	NO SKID	5959.472	NO SKID	6010.215	NO SKID	4861.203	NO SKID
20	15.62	3331.8814	2735.8240	7439.083	NO SKID	6016.905	NO SKID	5939.207	NO SKID	4803.77	NO SKID
20	23.44	4927.6709	4046.1345	7557.611	NO SKID	6112.774	NO SKID	5820.678	NO SKID	4707.901	NO SKID
20	31.25	6432.3481	5281.6322	7723.357	NO SKID	6246.833	SKID	5654.932	NO SKID	4573.842	SKID
25	7.81	2625.3185	2155.6618	7380.352	NO SKID	5969.402	NO SKID	5997.937	NO SKID	4851.273	NO SKID
25	15.62	5206.0646	4274.7250	7491.302	NO SKID	6059.141	NO SKID	5886.987	NO SKID	4761.534	NO SKID
25	23.44	7699.4858	6322.0852	7676.503	SKID	6208.936	SKID	5701.787	SKID	4611.739	SKID
25	31.25	10050.5438	8252.5503	7935.481	SKID	6418.404	SKID	5442.809	SKID	4402.272	SKID

30	7.81	3780.4586	3104.1529	7395.357	NO SKID	5981.539	NO SKID	5982.932	NO SKID	4839.136	NO SKID
30	15.62	7496.7331	6155.6039	7555.125	NO SKID	6110.763	SKID	5823.164	SKID	4709.912	SKID
30	23.44	11087.2595	9103.8026	7821.815	SKID	6326.468	SKID	5556.475	SKID	4494.208	SKID
30	31.25	14472.7831	11883.6725	8194.743	SKID	6628.101	SKID	5183.546	SKID	4192.574	SKID
35	7.81	5145.6243	4225.0971	7413.091	NO SKID	5995.882	NO SKID	5965.198	NO SKID	4824.793	NO SKID
35	15.62	10203.8867	8378.4609	7630.553	SKID	6171.771	SKID	5747.736	SKID	4648.904	SKID
35	23.44	15090.9921	12391.2869	7993.547	SKID	6465.369	SKID	5384.743	SKID	4355.307	SKID
35	31.25	19699.0659	16174.9987	8501.144	SKID	6875.925	SKID	4877.146	SKID	3944.75	SKID
40	7.81	6720.8154	5518.4941	7433.553	NO SKID	6012.433	SKID	5944.736	NO SKID	4808.243	SKID
40	15.62	13327.5255	10943.2959	7717.585	SKID	6242.164	SKID	5660.704	SKID	4578.511	SKID
40	23.44	19710.6836	16184.5380	8191.699	SKID	6625.639	SKID	5186.59	SKID	4195.036	SKID
40	31.25	25729.3922	21126.5289	8854.683	SKID	7161.876	SKID	4523.607	SKID	3658.799	SKID
45	7.81	8506.0319	6984.3441	7456.743	SKID	6031.189	SKID	5921.546	SKID	4789.486	SKID
45	15.62	16867.6494	13850.1089	7816.221	SKID	6321.944	SKID	5562.068	SKID	4498.732	SKID
45	23.44	24946.3339	20483.5559	8416.272	SKID	6807.279	SKID	4962.018	SKID	4013.397	SKID
45	31.25	32563.7620	26738.2631	9255.361	SKID	7485.953	SKID	4122.929	SKID	3334.722	SKID
50	7.81	10501.2740	8622.6471	7482.661	SKID	6052.153	SKID	5895.628	SKID	4768.523	SKID
50	15.62	20824.2586	17098.8998	7926.461	SKID	6411.109	SKID	5451.828	SKID	4409.567	SKID

50	23.44	30797.9431	25288.3407	8667.265	SKID	7010.288	SKID	4711.025	SKID	3810.388	SKID
50	31.25	40202.1754	33010.2014	9703.177	SKID	7848.158	SKID	3675.113	SKID	2972.517	SKID

Tabel A.13. Hasil perhitungan batas kecepatan maksimum agar kendaraan tidak mengalami *skid* dengan 2 orang penumpang pada berbagai permukaan jalan.

P ban	δf	Aspal Kering		Aspal Basah		Tanah Kering		Tanah Basah	
		Vsf	Vsr	Vsf	Vsr	Vsf	Vsr	Vsf	Vsr
[Psi]	[°]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]	[Km/Jam]
25	7.81	48.5305	47.6155	42.7169	42.0890	42.0941	41.4929	37.8096	37.3721
	15.62	34.8132	33.4230	30.5726	29.6181	30.1199	29.2060	27.0143	26.3491
	23.44	28.9268	27.1701	25.3421	24.1359	24.9610	23.8059	22.3530	21.5121
	31.25	25.6026	23.5037	22.3712	20.9301	22.0291	20.6492	19.6949	18.6902
30	7.81	48.5305	47.6156	42.7169	42.0890	42.0941	41.4929	37.8096	37.3721
	15.62	34.8132	33.4230	30.5726	29.6181	30.1199	29.2060	27.0143	26.3491
	23.44	28.9268	27.1701	25.3421	24.1359	24.9610	23.8059	22.3530	21.5121
	31.25	25.6026	23.5037	22.3712	20.9301	22.0291	20.6492	19.6949	18.6902
35	7.81	48.5305	47.6156	42.7169	42.0890	42.0941	41.4929	37.8096	37.3721
	15.62	34.8132	33.4230	30.5726	29.6181	30.1199	29.2060	27.0143	26.3491

	23.44	28.9268	27.1701	25.3421	24.1359	24.9610	23.8059	22.3530	21.5121
	31.25	25.6026	23.5037	22.3712	20.9301	22.0291	20.6492	19.6949	18.6902
40	7.81	48.5305	47.6156	42.7169	42.0890	42.0941	41.4929	37.8096	37.3721
	15.62	34.8132	33.4230	30.5726	29.6181	30.1199	29.2060	27.0143	26.3491
	23.44	28.9268	27.1701	25.3421	24.1359	24.9610	23.8059	22.3530	21.5121
	31.25	25.6026	23.5037	22.3712	20.9301	22.0291	20.6492	19.6949	18.6902

Tabel A.14. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal dengan *stabilizer* beserta nilai K_{US} pada setiap nilai kecepatan dan sudut belok kendaraan.

V [Km/Jam]	V [m/s]	δS_w [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² /g.R	K_{US}
10	2.777778	261	20.78	12.56	9.81	10	0.08	3.43
15	4.166667	268	20.78	12.89	9.81	10	0.18	2.10
20	5.555556	274	20.78	13.18	9.81	10	0.31	1.09
25	6.944444	278	20.78	13.38	9.81	10	0.49	2.00
30	8.333333	287	20.78	13.81	9.81	10	0.71	1.70
36	10	298	20.78	14.34	9.81	10	1.02	SKID

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Tabel A.15. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan aspal tanpa *stabilizer* beserta nilai K_{US} pada setiap nilai kecepatan dan sudut belok kendaraan.

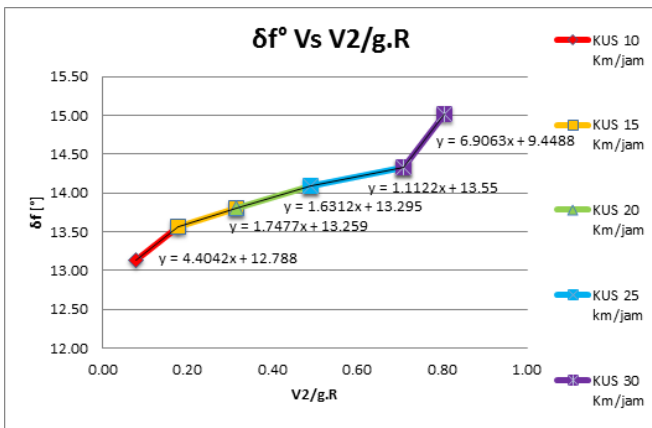
V [Km/Jam]	V [m/s]	δSw [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² /g.R	K_{US}
10	2.777778	264	20.78	12.70	9.81	10	0.08	6.85
15	4.166667	278	20.78	13.38	9.81	10	0.18	2.10
20	5.555556	284	20.78	13.66	9.81	10	0.31	2.72
25	6.944444	294	20.78	14.15	9.81	10	0.49	0.67
30	8.333333	297	20.78	14.29	9.81	10	0.71	0.93
36	10	303	20.78	14.58	9.81	10	1.02	SKID

Tabel A.16. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah dengan *stabilizer* beserta nilai K_{US} pada setiap nilai kecepatan dan sudut belok kendaraan.

V [Km/Jam]	V [m/s]	δSw [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² /g.R	K_{US}
10	2.777778	267	20.78	12.85	9.81	10	0.08	5.38
15	4.166667	278	20.78	13.38	9.81	10	0.18	1.75
20	5.555556	283	20.78	13.62	9.81	10	0.31	1.36
25	6.944444	288	20.78	13.86	9.81	10	0.49	1.33
30	8.333333	294	20.78	14.15	9.81	10	0.71	5.92
32	8.888889	306	20.78	14.72	9.81	10	0.81	SKID

Tabel A.17. Hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada jalan tanah tanpa *stabilizer* beserta nilai K_{US} pada setiap nilai kecepatan dan sudut belok kendaraan.

V [Km/Jam]	V [m/s]	δSw [°]	G [°]	δf [°]	g [m/s ²]	R [m]	V ² /g.R	K_{US}
10	2.777778	273	20.78	13.13	9.81	10	0.08	4.40
15	4.166667	282	20.78	13.57	9.81	10	0.18	1.75
20	5.555556	287	20.78	13.81	9.81	10	0.31	1.63
25	6.944444	293	20.78	14.10	9.81	10	0.49	1.11
30	8.333333	298	20.78	14.34	9.81	10	0.71	6.91
32	8.888889	312	20.78	15.01	9.81	10	0.81	SKID



Gambar A.4. Grafik δ_f° Vs $\frac{v^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan mobil Toyota Fortuner pada radius belok 10 meter jalan tanah dengan 2 orang penumpang, tanpa *stabilizer*.